This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

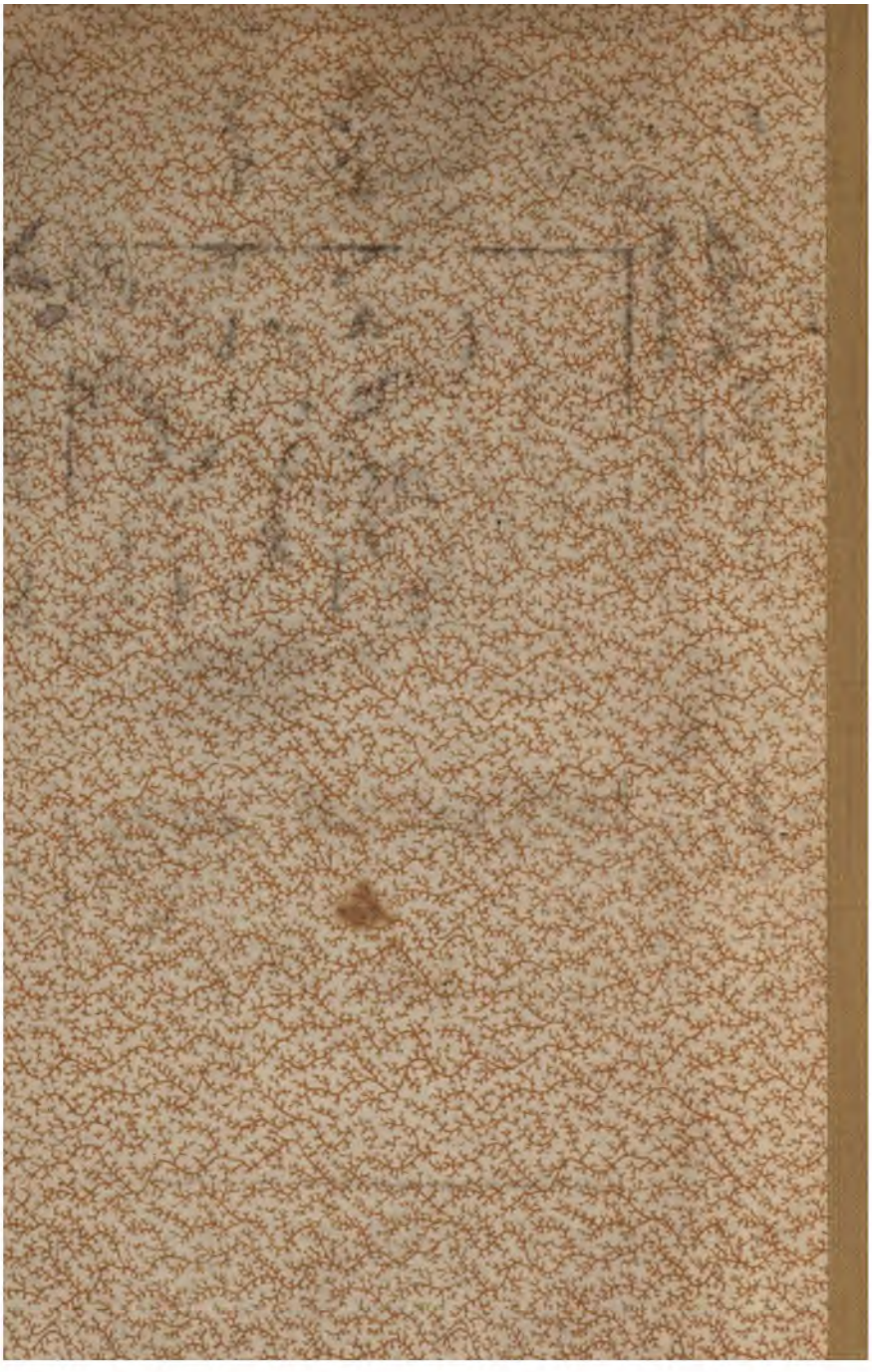
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

3 3433 06642071 6



LEHRBUCH

des

Steinschnitts

der

Mauern, Bogen, Gewölbe und Treppen.

Zum Selbstunterricht,

so wie

zum Gebrauch bei Vorträgen in Bau- und Gewerbschulen.

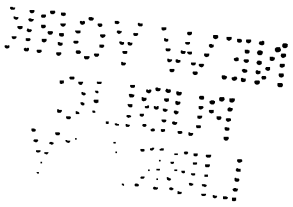
Von

Dr. A. Ringleb,

Professor an der Königl. Allgem. Bauschule und dem Königl. Gewerbe-Institut zu Berlin.

Mit einem Atlas Abbildungen,
bestehend aus 48 lithogr. Tafeln in Gross-Folio.

Berlin.
Carl Heymann.
1844.



Herrn Dr. Beuth,

dem

Beförderer und Beschützer des vaterländischen Gewerbfleisses,

in

tiefster Ehrfurcht

gewidmet.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

Duke
Medical
Center
Library

Herrn Dr. Beuth,

dem

Beförderer und Beschützer des vaterländischen Gewerbfleisses,

in

tiefster Ehrfurcht

gewidmet.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

Herrn Dr. Beuth,

dem

Beförderer und Beschützer des vaterländischen Gewerbfleisses,

in

tiefster Ehrfurcht

gewidmet.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

Herrn Dr. Beuth,

dem

Beförderer und Beschützer des vaterländischen Gewerbfleisses,

in

tiefster Ehrfurcht

gewidmet.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

Vorrede.

Bei dem allgemeinen Bestreben nach gebildeter Erkenntniss, bei dem eifrigen Bemühen neuerer Zeit, das Gebiet derjenigen Wissenschaften, deren practische Tendenz dem Techniker erklärend und anleitend zur Seite geht, möglichst zu erweitern und dem Practiker zugänglicher zu machen: schien mir ein Werk, worin die Lehre von der Construction der Gewölbe und deren Steinschnitt nach ihrem ganzen Umfange in folgerechtem Zusammenhange gründlich abgehandelt wird, ein wahres Bedürfniss unserer Zeit zu sein.

Die deutsche Literatur hat nur wenige Bearbeitungen dieses Gegenstandes aufzuweisen, und sogar diese beschränken sich meistentheils auf Uebersetzung französischer Werke. Hierdurch, besonders aber durch das von meinen Zuhörern an der hiesigen allgemeinen Bauschule alljährlich ausgesprochene Bedürfniss, fand

ich mich zur Herausgabe des vorliegenden Werkes veranlasst, welches die Frucht einer 16jährigen Lehrerfahrung ist.

Der Inbegriff aller aus Gründen hergeleiteten und in folgerechtem Zusammenhange aufgestellten Gesetze über die Verbindung und Zusammenstellung der Gegenstände, welche eine Wissenschaft umfasst, bildet die Theorie derselben. Sie ist, nach Beschaffenheit der Gegenstände, einfach oder zusammengesetzt. Welches aber auch der Fall sein mag, der Weg, auf welchem man zur Erkenntniss der Gegenstände und deren Theorie gelangt, wird durchaus nicht gleichgültig sein. Aus diesem Grunde habe ich den bisher in der Lehre vom Steinschnitt eingeschlagenen Weg nicht beibehalten, da auf demselben das Studium dieser schönen Wissenschaft dem Schüler nicht allein in hohem Grade erschwert, sondern sogar beinahe gänzlich verleidet wird.

Die Zeichnungen verwickelter und zusammengesetzter Gegenstände erfordern eine Menge von Hilfslinien, eine Fülle der Bezeichnung, wenn man von dem Gesichtspunkte ausgeht, die Zeichnung müsse die Construction aller Theile des Gegenstandes, um den es sich handelt, vollständig darlegen. Bedenkt man aber, dass eine Fülle von Hilfslinien das Wesen der Zeichnung undeutlich macht; dass der Schüler bei dem Aufsuchen und Verfolgen der Hilfslinien einen in hohem Grade ermüdenden Zeitaufwand gebraucht; dass ein langes Suchen nach einem Punkte, von dem die Rede ist, den folgerechten Zusammenhang des Vortrages stört: so wird man jedenfalls dergleichen Zeichnungen

für zweckwidrig erkennen, weil die gute Absicht, verständlich zu werden, ganz und gar verfehlt wird. Es sind deshalb verwandte und übereinstimmende Constructionen bei ein und demselben Gegenstande in diesem Werke nur ein Mal durchgeführt worden, indem jeder andere Punkt des Gegenstandes durch Wiederholung derselben Construction ermittelt werden kann. Und um die Menge der Hilfslinien entbehrlich zu machen, ist die Bezeichnung der Figuren in der Art gewählt worden, dass durch sie die Hilfslinien vertreten werden, und der Leser in den Stand gesetzt wird, mit Leichtigkeit die Punkte heraus zu finden, von welchen die Rede ist.

Die Bezeichnung der Figuren ist zum Verstehen derselben von Wichtigkeit, insbesondere bei verwickelten und zusammengesetzten Gegenständen; da die Lage der durcheinander laufenden Linien und der sich schneidenden Ebenen oder Flächen, bei den Constructionen im Raume nicht ohne grosse Anstrengung der Phantasie, vermittelst der Projectionen jener Linien und Flächen, erkannt werden muss, wodurch bei einer schlechten Bezeichnung häufig Verwirrung veranlasst und die Aufmerksamkeit des Lesers geschwächt wird. So wie in der Projectionslehre eine gute Bezeichnung das Verstehen des Vortrages ausserordentlich begünstigt, eben so erleichtert die gute Bezeichnung das Studium der Lehre vom Steinschnitt.

Bei der Ausarbeitung dieses Werkes ging meine Absicht überhaupt dahin, einen Theil der Schwierigkeiten, welche der Anfänger bei dem Studium der Lehre vom Steinschnitt findet,

aus dem Wege zu räumen. Zu dem Ende habe ich mich bemüht, die Principien dieser Lehre zu vereinfachen, die Gegenstände in einer klaren und bündigen Form darzulegen, verwandte Gegenstände in nähere Verbindung zu bringen, in der Behandlung des Einzelnen alles auf deutliche Begriffe zurückzuführen, ohne einen gar zu hohen Standpunkt des Lesers anzunehmen, welches mir nothwendig schien, damit dieses Werk nicht bloss als Leitfaden für meine Vorlesungen, sondern auch zum vollständigen Selbstunterrichte brauchbar sei. Dadurch glaube ich in einem grösseren Umfange zu nützen.

Die Lehre vom Steinschnitt geht zunächst den Steinmetzen an, dessen Sache es ist, aus regelrecht zugehauenen Steinen alle Theile eines Gebäudes aufzuführen. Keinesweges habe ich aber bei der Ausarbeitung dieses Werkes das Bedürfniss des Steinmetzen allein vor Augen gehabt; denn in vielen Provinzen Deutschlands möchte dasselbe immer unerheblich bleiben. Dahingegen ist die mit dem Steinschnitt verbundene Lehre von der Anordnung und von dem Bau der Gewölbe, Sache eines jeden Architecten, weil der Bau der Gewölbe einer der wichtigsten Gegenstände der Bauconstructionslehre ist.

Die Anlage eines Bauwerkes erheischt nicht bloss eine naturgemässe Anordnung der einzelnen Theile und eine folgerechte Bestimmung der Grösse derselben, sondern sie erfordert auch eine genaue und richtige Aufzeichnung des Ganzen und der Theile desselben. Die Projectionslehre vermittelt zwar die Constructionen im Raume; sie lehrt, wie die Projectionen von den

Durchschnitten der Ebenen, der Flächen und Linien ermittelt werden, und deshalb studirt der Architect die Projectionslehre; eben so der Maurer und der Zimmermann.

Keinesweges befähigt aber die Projectionslehre allein den Schüler zur richtigen Anfertigung aller Zeichnungen, welche bei Bauten vorkommen. Jeder Zeichnenlehrer wird hierin meiner Meinung sein; denn nur zu oft möchte es ihm vorgekommen sein, dass ein mit allen Gesetzen der Projectionslehre ausgerüsteter Schüler dennoch in hohem Grade ungeschickt sich benimmt, wenn derselbe zum ersten Mal den Durchschnitt eines Gebäudes zeichnet. Die Theorie ist immer eine ganz andere Sache, als die Anwendung derselben. So wenig derjenige Schüler im Stande ist, schwierige Aufgaben der Mathematik mit Leichtigkeit zu lösen, welcher nur mit den Lehrsätzen der Planimetrie oder der Zahlenlehre sich vertraut gemacht hat, ohne zugleich eine zweckmässige Anleitung in der Anwendung dieser Gesetze beim Lösen der Aufgaben genossen zu haben: eben so wenig ist der Schüler fähig, in der Projectionslehre etwas zu leisten, wenn er in der Anwendung derselben nicht hinreichend geübt worden ist. Es ist dies ein Umstand, welcher in den Zeichnenschulen nicht genug beachtet werden kann.

Eine der lehrreichsten und zweckmässigsten Uebungen in der Projectionslehre ist aber in der That das Projiciren der Gewölbe, das ist die Anfertigung des Grundrisses, des Aufrisses und des Durchschnitts eines Gewölbes. Bei dem Gewölbebau aus Schnittsteinen gewinnt dies Projiciren insbesondere dadurch

ein höheres Interesse, dass auch die Projectionen der einzelnen Steine des Gewölbes dargestellt werden können, welches bei dem Gewölbebau aus Mauersteinen, wegen der zu kleinen Form der Steine, nicht füglich geschehen kann. Ohne Musterblatt kann indess der Schüler das Projiciren der Gewölbe nicht vollführen, es fehlen ihm dazu die erforderlichen Anhaltspunkte; insbesondere ist dies der Fall bei den schiefen Durchschnitten durch die schwierigsten Gewölbtheile der zusammengesetzten Gewölbe.

Es werden daher die Zeichnungen dieses Werkes beim Zeichnenunterrichte mit vielem Vortheile benutzt werden können; insbesondere die Tafeln 18, 20, 23 und 27, wegen der schiefen Durchschnitte, welche sie enthalten; und die Tafeln 8, 16, 29 bis 34, deren nächster Zweck die allgemeine Uebung im Projiciren ist. Damit aber der Zweck dieser Tafeln nicht verloren gehe, muss der Zeichnenlehrer darauf halten, dass der Schüler nicht copire, sondern construire; denn bei der Schwierigkeit der Constructionen, namentlich bei den Sterngewölben, möchte der Schüler das Copiren vorziehen, was aber durchaus keinen reellen Nutzen hat.

Bei dem Bau der Gewölbe ist die lichte Weite derselben Maass gebend für die einzelnen Theile; deshalb ist nur auf einigen Tafeln ein bestimmter Maasstab angegeben worden. Dahingegen ist das Verhältniss der Stärke des Gewölbes zur lichten Weite desselben, so wie das Verhältniss der Stärke der

Widerlager, nach den Regeln, welche die Erfahrung darbietet, bei jedem Gewölbe angegeben worden.

Die am Schluss des ersten Kapitels gegebene Theorie der Futtermauern möchte eigenthümlich sein. Das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte ist an und für sich richtig, dass aber dessen ungeachtet dasselbe häufig fehlerhafte Resultate liefert, ist eine Sache, welche nur zu bekannt ist. Weniger bekannt möchte indess der Grund dieser auffallenden Erscheinung sein, weil sonst die Theorie der Futtermauern nicht so verschieden sein würde. Die Anwendung des Princips von der virtuellen Geschwindigkeit ist sicherer, und führt auf genauere Resultate; deshalb stütze ich meine Theorie auf dies Princip, und zeige in §. 32. dieses Werkes die Gründe, weshalb die Anwendung des Parallelogramms der Kräfte bei der Theorie der Futtermauern auf fehlerhafte Resultate führt.

Meine Bearbeitung dieses Gegenstandes beschränkt sich aber nicht auf die Theorie allein, sondern, um den Techniker in den Stand zu setzen, ohne Hilfe langer und zeitraubender Berechnungen die Stärke einer Futtermauer zu bestimmen, habe ich in §. 28, §. 29, §. 31 und in §. 60 mehrere Tabellen berechnet, in welchen der Practiker ohne Weiteres die Stärke einer Futtermauer vorfindet, wenn die Höhe derselben bekannt ist, so wie das Hinterfüllungsmaterial. Hierdurch glaube ich dem practischen Baumeister einen wesentlichen Dienst geleistet zu haben.

Schliesslich bemerke ich noch, dass nicht die Erweiterung, sondern die Verbreitung der Lehre von der Construction der

Gewölbe und deren Steinschnitt bei Abfassung dieses Werkes meine Absicht gewesen ist. Ob das Werk diesem Zweck entspreche, muss dem Erfolg und dem Urtheile sachkundiger Männer überlassen werden.

Berlin, im März 1844.

Ringleb.

Inhalt.

		Seite.
§. 1—5.	Einleitung	1
§. 6.	Beschreibung der Werkzeuge des Steinmetzen	6
	Erstes Kapitel.	
§. 7.	Von den Steinverbänden	12
§. 8.	Eintheilung der Mauern	18
§. 9—10.	Von den ebenen geraden Mauern	18
§. 11.	Eckverbindungen der geraden Mauer	20
§. 12.	Bearbeitung der Schnittsteine	24
§. 13.	Darstellung der Steine in der schiefen Projection	27
§. 14—16.	Von den ebenen Böschungsmauern	29
§. 17.	Von den Mauern mit windschiefen Ebenen	34
§. 18—19.	Von den geraden cylindrischen Mauern	37
§. 20.	Von den schiefen cylindrischen Mauern	39
§. 21.	Princip der Darstellung der Schnittsteine von zusammengesetzter Form	41
§. 22—23.	Darstellung und Bearbeitung der Steine der schiefen cylindrischen Mauer	45
§. 24—25.	Von den kegelförmigen Mauern	48
§. 26—60.	Theorie der Futtermauer	50
	Zweites Kapitel.	
§. 61.	Von den Gewölben im Allgemeinen	99
§. 62.	Eintheilung der Gewölbe	102
§. 63.	Erklärung der beim Gewölbebau eingeführten Benennungen	104
§. 64—71.	Von den Tonnengewölben	105
§. 72—74.	Vom cylindrischen Bogen	118
§. 75—80.	Vom steigenden Bogen	121
§. 81—91.	Details der Bogen	126
§. 92—94.	Von dem schiefen Tonnengewölbe	149
	Drittes Kapitel.	
§. 95—103.	Von den conischen Gewölben	155
	Viertes Kapitel.	
§. 104—113.	Von den sphärischen und sphäroidischen Gewölben	167

Fünftes Kapitel.

Seite.
§. 114—120. Vom scheitrechten Bogen 195
§. 121—122. Von den ebenen Gewölben 200

Sechstes Kapitel.

§. 123—132. Von den Klostergewölben 202

Siebentes Kapitel.

§. 133—138. Von den Kreuzgewölben 216
§. 139—140. Von den gerippten Kreuzgewölben 228
§. 141—149. Von den Sterngewölben 233

Achtes Kapitel.

§. 150—152. Von den Fächergewölben 251

Neuntes Kapitel.

§. 153. Vom Kernbogen 254
§. 154—156. Von dem sphärischen Strebebogen 256
§. 157. Vom sphärischen Nieschengewölbe 258

Zehntes Kapitel.

§. 158—163. Vom Durchdringen der Gewölbe 259

Eilftes Kapitel.

§. 164—165. Von den Treppen im Allgemeinen 273
§. 166—168. Von den Freitreppen 275
§. 169—170. Von den Treppen mit geraden Armen 278
§. 171. Von der viereckig gewundenen Schneckentreppe 281
§. 172. Von den Treppen auf vorspringendem Gewölbe 283
§. 173—175. Von den Treppen zwischen cylindrischen Mauern 284
§. 176—179. Von den freitragenden Treppen 293

Zwölftes Kapitel.

§. 180. Von der Abbrettung der Säulen, der Gesimse und der Giebel 299
§. 181—183. Vom Verlegen der Steine 302
§. 184. I. Tabelle der kleinsten Dicke kreisförmiger und elliptischer Tonnengewölbe 312
II. Tabelle über die Stärke halbkreisförmiger Tonnengewölbe und deren Widerlager 313
III. Tabelle über die Stärke der gedrückten Tonnengewölbe und deren Widerlager 317
IV. Tabelle über die Abmessungen einiger der merkwürdigsten Brückengewölbe 321
Erklärung der Figuren 327

Vom

Bau der Gewölbe

aus

Schnittsteinen.

Einleitung.

§. 1.

Jede besondere Art von Bauwerken aus einzelnen Schnittsteinen so darzustellen, dass ein harmonisch Ganzes gebildet werde, welches seiner Bestimmung vollständig entspreche; insbesondere die Form und Grösse, das Ergebniss der Zusammensetzung einzelner Schnittsteine: das ist der Gegenstand der Lehre vom Steinschnitt.

Es ist dies ein wichtiger Theil der Baukonstruktionslehre, welcher aus dem Bedürfniss und der Nothwendigkeit hervorgegangen, im Entstehen unbedeutend, mit der Kultur der Baukunst jedoch gleichen Schritt haltend, ganz besonders von den Etruskern und von den Römern mit Sorgfalt gepflegt, und in neuerer Zeit durch die Bemühungen mehrerer Baumeister in Frankreich glücklich ausgebildet worden ist.

§. 2.

Die Lehre vom Steinschnitt umfasst als Haupttheile:

1) die Anordnung der Form und Grösse der verschiedenen Theile eines Bauwerkes;

2) die Bearbeitung der Steine, aus deren Zusammensetzung die Bildung des Bauwerkes erfolgen soll; und

3) das Verlegen der Steine.

Aus dem gegebenen Raum entsteht das Verhältniss der Gestalt. Daher geht die Bildung der Form aus der Anordnung des Grundrisses und aus der Anlage der Massen hervor.

Aufzeichnung der einzelnen Steine und deren Fugen. Dies findet aber in der Lehre vom Steinschnitt, wegen der zusammengesetzten Form der Gewölbe, seine Schwierigkeiten.

So lange die Begränzungen eines Körpers parallel laufen mit den Projektionsebenen, ist die Anfertigung einer geometrischen Zeichnung des Körpers nicht schwierig; in diesem Falle haben die Projektionen gleiche Maasse mit den wirklichen Längen. Wenn aber die Begränzungen eine geneigte Lage gegen die Projektionsebenen haben, dann vermittelt nur die beschreibende Geometrie, die den zeichnenden Künsten überhaupt zur Grundlage dient, die Konstruktionen im körperlichen Raume.

§. 4.

Bei Anfertigung der geometrischen Zeichnung hat der Zeichner drei aufeinander normal stehende Ebenen vor Augen, um gegen sie die Lage von Punkten und Raumgrössen zu bestimmen. Diese Ebenen werden Projektionsebenen genannt. Die eine dieser Ebenen bezeichnen wir durch P', die andere durch P'', und die dritte durch P'''. In der Regel wird die Projektionsebene P' in horizontaler Lage gedacht, die beiden andern daher in vertikaler Lage. Die Ebene P' heisst die erste, P'' die zweite und P''' die dritte Projektionsebene. Wegen der horizontalen Lage wird P' auch die horizontale Projektionsebene genannt; die beiden andern heissen vertikale Projektionsebenen.

Denkt man durch einen Punkt a im Raum eine Linie $a\,a'$ normal auf P', so heisst der Punkt a', in welchem die Projektionsebene P' und die Linie $a\,a'$ sich schneiden, die erste Projektion, oder auch die horizontale Projektion des Punktes a. Denkt man ferner aus dem Punkte a zwei andere Linien $a\,a''$ und $a\,a'''$ beziehlich normal auf P'' und P''', so heissen die Punkte a'' und a''', in welchen die Projektionsebenen und jene Linien sich schneiden, die vertikalen Projektionen des Punktes a. Es heisst auch a'' die zweite und a''' die dritte Projektion von a. Punkte im Raume werden wir stets mit Buchstaben des kleinen lateinischen Alphabets bezeichnen; und ist ein Punkt durch b bezeichnet, so bezeichnen wir seine Projektion in P' durch b', in P'' durch b'', und seine Projektion in P''' durch b'''.

§. 5.

Durch die geometrische Zeichnung wird ein Gegenstand nie so dargestellt, wie er aus einem bestimmten Standpunkte betrachtet, erscheinen würde; denn sämmtliche Projektionen der Begränzung eines Objektes gehen durch Linien hervor, welche auf den Projektionsebenen normal stehen, und die deshalb nicht in einem Punkte des Auges sich vereinigen können. Erst dann, wenn der Standpunkt in unendlicher Ferne sich befände, würden alle Sehstrahlen auf den Projektionsebenen normal stehen und die Projektionen des Objektes bestimmen.

Die Vereinigung aller Projektionen eines Gegenstandes auf der ersten oder horizontalen Projektionsebene zu einem Bilde, nennt man den Grundriss; die auf der zweiten oder dritten Projektionsebene, den Aufriss.

Der Zeichner hat bei Anfertigung der geometrischen Zeichnung die Idee vor Augen, dass das Objekt zwischen den Projektionsebenen und dem Beschauer sich befände, und dass sämmtliche Sehstrahlen eine vertikale Richtung hätten, wenn er den Grundriss zeichnet; eine horizontale aber, wenn er den Aufriss verfertigt. Er nimmt sonach den Standpunkt des Auges in unendlicher Ferne an.

Unter dieser Voraussetzung kann der Grundriss in zweierlei Motiven gefertigt werden, indem der Standpunkt des Auges entweder über dem Objekt, oder unter demselben gedacht werden kann. Im ersten Falle stellt der Grundriss eine Ansicht von oben, im zweiten aber eine Ansicht von unten vor.

Bei allen Gewölbekonstruktionen wird der Grundriss in der zweiten Motive gefertigt, so dass er eine Ansicht von unten vorstellt; und nur das scheitrechte Gewölbe macht davon eine Ausnahme, indem die Konstruktion desselben nur aus einer Ansicht von oben im Grundrisse klar zu erkennen ist. Der Aufriss hingegen kann in dreierlei Motiven gefertigt werden, indem der Standpunkt des Auges entweder vor der zweiten Projektionsebene, oder hinter derselben, oder auch hinter der dritten Projektionsebene gedacht werden kann. Im ersten Falle heisst der Aufriss eine vordere Ansicht; im zweiten Falle, hintere Ansicht; und im dritten Falle, Seitenansicht.

Wenn der Standpunkt des Auges hinter der Projektionsebene sich befindet, muss der Zeichner dieselbe als eine durchsichtige Glastafel denken, da sonst das Objekt von dem Auge nicht wahrgenommen werden könnte. — Kann ein Objekt durch seinen Grundriss und Aufriss nicht hinreichend klar erkannt werden, wie dies bei zusammengesetzten Gegenständen der Fall ist, so werden noch vertikale oder auch horizontale Durchschnitte durch den Gegenstand gedacht, und deren Projektionen ermittelt.

Ein vertikaler Durchschnitt, welcher den Gegenstand seiner Länge nach schneidet, heisst Längendurchschnitt; ein vertikaler Durchschnitt, welcher den Gegenstand seiner Breite nach schneidet, heisst Querdurchschnitt; ein Durchschnitt, dessen Ebene horizontal ist, heisst ein Horizontalschnitt.

Es ist nicht nothwendig, dass der Durchschnitt stets nach einer geraden Linie durch den Gegenstand gelegt werde; derselbe kann vielmehr nach einer beliebig gebrochenen Linie angeordnet werden; die gebrochene Linie muss aber jedenfalls im Grundriss oder im Aufriss genau angegeben werden, je nachdem der Durchschnitt vertikal oder horizontal ist.

Beschreibung der Werkzeuge des Steinmetzen.

§. 6.

1) Das Beitzeisen Fig. 1. *a.* und *b.* Taf. I.

Die Figur *a.* zeigt eine Ansicht von vorn, und Figur *b.* die Seitenansicht. Dasselbe ist 6 Zoll lang und $\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat stark.

Es dient zum Einhauen schwacher Falze, durch welche abzunehmende Stücke eines Steins bezeichnet werden.

Ausserdem wird das Beitzeisen bei den feinen Marmorarbeiten gebraucht, wobei die grösseren Eisen nicht angewendet werden können.

2) Das grosse Beitzeisen Fig. 2. *a.* und *b.*

Figur *a.* die Ansicht von vorn, und Figur *b.* die Seitenansicht. Dasselbe ist in der Schärfe einen Zoll breit, und hat eine Länge von 8 Zoll.

3) Das Spitzeisen Fig. 3.

Die Figur *a*, zeigt eine Ansicht von vorn, und Figur *b*. den Grundriss. Die Seitenansicht ist der Ansicht von vorn völlig gleich. Dasselbe ist 6, 8 bis 9 Zoll lang, sein oberer Querschnitt ist ein Quadrat, welches zur Seite einen Zoll hat.

Das Spitzeisen dient zum Abhauen wegzunehmender Stücke eines Steins; insbesondere dient es zur Bearbeitung eines Steins aus dem Rohen, welches abbossiren oder spitzen, auch flächen genannt wird.

4) Die Zweispitze Fig. 12.

Figur *a*. zeigt eine Ansicht von vorn, und Figur *b*. den Grundriss. Dieselbe hat eine Länge von 17 Zoll, in der Mitte $1\frac{1}{2}$ Zoll und 1 Zoll stark, endigt zu beiden Seiten in vierkantig zugerichteten Spitzen, und hat einen hölzernen Stiel von 11 bis 12 Zoll Länge.

Die Zweispitze wird gebraucht wie das Spitzeisen, meistens aber erst nach dem Spitzen.

5) Das Schlageisen Fig. 4. und Fig. 5.

Die Ansicht von vorn ist entweder wie Fig. 4. *a*., oder wie Fig. 5. zeigt; die Seitenansicht aber wie Fig. 4. b.

Dasselbe ist 6 bis 8 Zoll lang, $\frac{3}{4}$ Zoll im Quadrat stark, und hat unten eine $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{7}{8}$ Zoll breite Schärfe.

Das Schlageisen dient zur Bearbeitung eines Schlages. Zum Behuf der Bearbeitung der Aussenseite oder des Lagers eines Steins wird nämlich mit dem Blutstein, oder mit einem spitzen Eisen, längs der Kante des Steins eine gerade Linie, circa $\frac{1}{3}$ Zoll entfernt von derselben, gezogen; diese gerade Linie heisst ein Riss. Längs des Risses wird dann mit dem Schlageisen ein schmaler ebener Streifen gearbeitet, welcher die Breite des Schlageisens zur Breite erhält, und der mit dem Richtscheit abgerichtet wird.

Ein solcher glatt gearbeiteter ebener schmaler Streifen heisst ein Schlag.

6) Das Kröneleisen Fig. 10.

Figur *a*. ist eine Ansicht von vorn, und Figur *b*. die Seitenansicht.

Dasselbe besteht aus einem Griff oder Stiel, woran eine

Einrahmung sich befindet, in welcher in der Reihe neben einander 13 bis 15 Stück schwache Spitzeisen von 9 Zoll Länge sich befinden, die vermittelst des Keils *d.* in der Einrahmung zusammengetrieben und wieder gelöst werden können. Griff, Rahm und Keil sind von Eisen.

Das Kröneleisen dient zum Nacharbeiten derjenigen Flächen, welche mit dem Spitzeisen oder mit der Zweispitze bereits bearbeitet worden sind; auch wird es zum Vorarbeiten des Scharrireisens gebraucht.

7) Das Zahneisen Fig. 8.

Die Fig. *a.* zeigt eine Ansicht von vorn, und Fig. *b.* eine Ansicht von der Seite.

Dasselbe ist 6 bis 7 Zoll lang, $\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat stark, und hat unten eine $1\frac{1}{2}$ Zoll breite gezahnte stumpfe Schneide. Es wird da gebraucht, wo man das Kröneleisen seiner Grösse wegen nicht anwenden kann.

8) Das Scharrireisen Fig. 6. und Fig. 7.

Die Ansicht von vorn ist entweder wie Figur 6. *a.*, oder wie Figur 7. zeigt; die Seitenansicht, wie Figur 6. *b.* Dasselbe ist $5\frac{1}{2}$ bis 6 Zoll lang, hat einen 3 Zoll langen Griff, und unten eine 3 bis $3\frac{1}{2}$ Zoll breite Schneide. Das Scharrireisen wird nach dem Kröneleisen angewendet. Die gekrönelte Fläche wird mit demselben noch einmal übergearbeitet, indem mit demselben parallele schmale Streifen gearbeitet werden, welche die ganze Fläche bedecken. Dergleichen bearbeitete Flächen nennt man scharrirte Flächen.

9) Das Nutheisen Fig. 9.

a. die Vorderansicht, *b.* die Seitenansicht.

Dasselbe ist 7 bis 9 Zoll lang, und hat unten eine schmale Schneide, welche zum Einarbeiten der Nuthen zwischen den Gesimsgliedern gebraucht wird.

10) Der eiserne Schlägel Fig 13. *a.* und *b.*:
ein Hammer, welcher 5 bis $5\frac{1}{2}$ Zoll lang, und $1\frac{7}{8}$ Zoll im Quadrat stark ist. Sein hölzerner Stiel hat 6 Zoll Länge. Der eiserne Schlägel wird zum Treiben des Beitzeisens, Spitzeisens, Zahn- und Nutheisens gebraucht.

11) Der hölzerne Schlägel, auch Klöpfel oder Klippel genannt Fig. 14.

Die Fig. 14. *a.* zeigt eine Ansicht von vorn, und Fig. *b.* den Grundriss.

Dieser Schlägel wird zum Treiben des Schlageisens und des Scharrireisens gebraucht.

12) Die Fläche Fig. 16.

Figur *a.* zeigt eine Ansicht von vorn, und Figur *b.* die Seitenansicht.

Die Fläche ist eine Art eiserner Hammer von 5 bis 8 Zoll Länge, welcher an beiden Enden anstatt der geraden Bahn, eine $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ Zoll breite Schneide hat; der hölzerne Stiel ist 12 bis 14 Zoll lang.

Die Fig. 17. zeigt die Form einer kleineren Fläche. — Die Fläche wird nur zur Bearbeitung der Granitsteine gebraucht.

13) Der Stock oder Kraushammer Fig. 18.

a. ist die Seitenansicht, und *b.* der Grundriss von der rauhen Bahn. Derselbe ist 5 Zoll lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat stark. Der hölzerne Stiel desselben ist 7 Zoll lang.

Der Kraushammer wird bei Granitarbeiten angewendet, und dient zum Ebenen der Flächen.

14) Das Winkelmaass;

die Schenkel desselben, von gutem Schmiedeeisen oder Stahl, sind 5 Zoll und 9 Zoll lang, 1 Zoll breit und $\frac{1}{4}$ Zoll stark. Die Richtung des einen Schenkels steht normal auf der des anderen.

Das Winkelmaass dient zum Abtragen des rechten Winkels.

15) Die Schmiege Fig. 21.

Dieselbe besteht aus zwei eisernen Linealen *a.* und *b.*, welche in *c.* durch einen Bolzen so verbunden sind, dass beide jede beliebige Drehung zulassen.

Der Schenkel *a.* ist etwas länger als der andere, und hat einen Schlitz, in welchen der Schenkel *b.* hineingelegt werden kann.

Die Schmiege dient zum Abnehmen und Auftragen der spitzen oder stumpfen Winkel.

16) Das Richtscheit mit Setzwage.

17) Der eiserne Stangenzirkel.

18) Die Biege oder Beuge, ein Richtscheit für gekrümmte Flächen.

19) Die Säge ohne Zähne. Sie dient zum Zerschneiden der Steine. Ihr Gestell ist von Holz, circa 4 Fuss hoch und 10, 12 bis 16 Fuss lang.

20) Die Scheere Fig. 15., 19. und Fig. 20.

Figur 15. *a.* zeigt eine Ansicht von vorn, und Figur *b.* die Seitenansicht.

Des Raumes wegen ist diese Figur nach dem halben Maassstabe gezeichnet worden. Es muss sonach jeder Theil der Scheere doppelt so gross gedacht werden, als ihn die Zeichnung nach dem beigesetzten Maassstabe angiebt.

Die Scheere besteht aus dem Mittelstück *d.*, und den keilförmigen Seitenstücken *e.* und *f.*, dem Bügel *m.* und dem Bolzen *n.*

Der Scheere bedient man sich beim Hochwinden der Sandsteine.

Es wird nämlich in dem oberen Lager des Steins ein Loch eingearbeitet, in welches die Scheere genau passt; sodann wird die Scheere in einzelnen Stücken in dies Loch eingebracht, der Bolzen, welcher die einzelnen Stücke zum Ganzen verbindet, eingeschoben, und der Haken des Windetaues in den Bügel eingehakt, um den Stein hochzuwinden.

Ausführlicher werden wir den Gebrauch der Scheere in dem Kapitel vom Verlegen der Steine beschreiben.

Die in Figur 15 vorgestellte Scheere wird nur bei grossen Steinen gebraucht; bei kleinen Steinen bedient man sich der einfacheren und kleineren Scheere Figur 19.

Dieselbe besteht aus dem keilförmigen Mittelstück *a.*, den Seitenstücken *b.* und *c.*, und der Umschliessung *d.*

Beim Hochwinden der Granitsteine bedient man sich der in Fig. 20. dargestellten Scheere.

Dieselbe ist in den Untertheilen schwächer, in den Obertheilen aber stärker als die Scheere für Sandsteine. —

Zum Spalten der grossen Granitsteine werden noch gebraucht:

1) Die Picke von gutem Eisen, an beiden Enden verstählt, ist gegen 10 Zoll lang und ein Zoll dick. Der hölzerne Stiel derselben ist 12 bis 15 Zoll lang.

2) Der Possekel Fig. 11.

Er ist $6\frac{1}{2}$ Zoll lang, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breit; derselbe hat auf einer Seite eine ebene Bahn, während die andere Seite eine breite Schärfe hat.

3) Der eiserne Keil,

von weichem Eisen; derselbe ist gegen 5 Zoll lang, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breit und $\frac{1}{2}$ Zoll stark im Mittel.

4) Eiserne Blechstücke,

zwischen welche der Keil gesetzt wird. Diese Blechstücke sind $4\frac{1}{2}$ Zoll lang, $2\frac{1}{4}$ Zoll breit, oberhalb $\frac{1}{4}$ Zoll stark, unterhalb aber zugespitzt.

Diejenigen Eisen, welche zur Bearbeitung der Sandsteine dienen, werden von gutem deutschen Stahl, diejenigen aber, welche zur Bearbeitung der Granitsteine verwendet werden, von englischem Gussstahl angefertigt.

Erstes Kapitel.

Von den Steinverbänden.

§. 7.

Unter Steinverband wird die Art und Weise verstanden, wie die einzelnen Steine unter einander zu verbinden sind, damit dadurch ein Bauwerk hervorgehe, welches die grösstmöglichste Standfähigkeit besitze. — Hierbei gilt als Hauptregel, dass die Schnittsteine abwechselnd nach der Länge und nach der Breite so verlegt werden müssen, dass die Fugen gehörig wechseln, und dass in zwei übereinanderliegenden Steinschichten nicht Fuge auf Fuge treffe.

Die Griechen und die Römer bedienten sich meistens dreierlei Arten von Steinverbänden, von welchen die eine Art Isodomum (ἰσοδόμον), die andere Pseudisodomum (ψευδισοδόμον), und die dritte Emplecton (ἐμπλεκτόν) genannt wurde. Ausserdem führt Vitruv noch das opus incertum und opus reticulatum an.

Das Isodomum Fig. 22. bis 25. Taf. II. hat durchaus gleich hohe Schichten und Steine von völlig gleichen Abmessungen; das Pseudisodomum Fig. 26. hingegen hat abwechselnd niedere und höhere Schichten.

Beide Arten des Steinverbandes haben das gemeinschaftlich, dass die Steine abwechselnd durch die ganze Dicke der Mauer hindurch reichen.

Bei der dritten Art, dem Emplecton, ist dies aber nicht mehr der Fall; die Steine reichen nicht durch die ganze Mauerdicke hindurch, sondern nur die Aussenseiten der Mauer sind aus Werkstücken aufgeführt, der innere Raum aber aus Bruchsteinmauerwerk, oder aus irgend einer anderen Füllmasse.

Bei dem opus incertum, d. i. Mauerwerk mit unbestimmten Fugen, bestehen die beiden Aussenseiten der Mauer aus unbehauenen Bruchsteinen von unregelmässiger Gestalt, welche ohne

Ordnung und Reihenfolge der Schichten, aber allenthalben im Verbande, neben einander liegen. Die Steine reichen nicht durch die ganze Mauerdicke hindurch, indem der mittlere Theil der Mauer mit Füllsteinen und Mörtelguss, einer Art Beton, ausgefüllt ist.

Die Ecken einer in diesem Princip aufgeführten Mauer müssen aus Schnittsteinen, oder gebrannten Mauersteinen, in horizontalen Schichten aufgeführt werden, um die Steine des opus incertum zu halten, welche vermöge ihrer Lage abzugleiten streben. Das opus reticulatum oder Mauerwerk im Netzverbande, ist eine Art Mauerbekleidung, gebildet aus kleinen viereckig zugehauenen Steinen, welche in schräger Richtung so verbunden sind, dass äusserlich die Form eines Netzes hervorgeht. Der innere Raum ist eben so ausgefüllt, wie beim opus incertum.

Bei grossen Tempeln bedienten sich die Griechen und die Römer meist des Isodomum, wie Fig. 22. Taf. II. diesen Verband darstellt. Diese Art des Steinverbandes gewährt den einfachsten und zugleich den vollkommensten Verband, da die Steine durch die ganze Mauerstärke hindurchreichen. — Ein anderer, bei den Griechen gebräuchlicher Verband der ersteren Art, ist in Fig. 23, dargestellt; die Steine haben gleiche Form und gleiche Abmessungen; alle Schichten übereinander sind gleich hoch. In der Ansicht der Mauerfläche bilden die Steine abwechselnd Quadrate und Rechtecke, da die Länge derselben doppelt so gross ist als ihre Breite. Es ist dies ein doppelter Verband mit Steinen von gleichen Abmessungen. Die Steine mit den quadratförmigen Vorderflächen gehen durch die ganze Mauerdicke hindurch, und werden Binder genannt; die Steine zwischen den Bindern heissen dagegen Läufer oder Läufersteine.

Bei einem Binder ist bg Fig. 23. die Länge, bc die Breite und ab die Höhe. Bei einem Läufer ist ce die Länge, cf die Breite und dc die Höhe.

Die Fig. 24. zeigt einen anderen doppelten Verband mit Steinen von völlig gleichen Abmessungen. Dieser Verband ist dem vorhergehenden ähnlich, jedoch aber mit dem Unterschiede, dass hier in einer Schicht nur Läufer, in der darauf folgenden

Verband ist zwar am wenigsten kostspielig; derselbe bietet aber auch die wenigsten Bindungen mit dem dahinter befindlichen rohen Mauerwerke dar.

Ein besserer Verband ist in Fig. 34. dargestellt. Niedere und höhere Schichten wechseln gehörig mit einander ab. In jeder höheren Schicht wechseln 2 Läufer mit einem Binder; in jeder niederen Schicht hingegen wechselt ein Läufer mit einem Binder. Die Längen der Bindersteine sind in beiden Schichten gleich gross, ihre Breiten aber sind verschieden, indem der kleinere Binder eine grössere Breite hat als der höhere. Die Läufersteine der niederen Schicht haben ebenfalls eine grössere Länge und Breite, als die der höheren Schicht, wodurch eine sehr gute Verankerung mit dem dahinter befindlichen Mauerwerke hervorgebracht wird, wenn sonst das Mauerwerk accurat genug aufgeführt wird, so dass kein sonderliches Setzen erfolgen kann.

Fig. 35. zeigt diesen Verband von der hinteren Seite angesehen, und zwar perspectivisch dargestellt.

Wenn die Hintermauerung der Sandsteinbekleidung nicht sorgfältig genug ausgeführt wird, so bildet sich nach einigen Jahren eine feine Fuge zwischen der Hintermauerung und der Sandsteinbekleidung; während der nassen Witterung des Spätherbstes dringt das Wasser in diese Fuge so tief als möglich ein, die darauf folgende Kälte verwandelt das Wasser in Eis, welches in Folge seiner grösseren Ausdehnung alle Schranken überwältigt, und mit einer ausserordentlich grossen Kraft ein Vordrängen der Läufer bewirkt. Um dies zu verhindern, verbindet man den Läufer mit dem Binder nach der in Fig. 36. dargestellten Form. Es wird nämlich die Ebene der Stossfuge *a d* des Läufers in eine gebrochene Ebene nach der Richtung *a b c d* verwandelt, wo *a b* auf der äusseren Fläche des Steins normal steht, damit keine spitzen Winkel entstehen.

Diese Länge von *a b* beträgt anderthalb bis zwei Zoll; eben so lang ist *e c*. Der Spund *d c b* des Läufers verhindert das Herausschieben des Steins.

Die Fig. 37. zeigt die Verbindung des Läufers mit dem Binder bei einer stumpfen Ecke. *l e k* sei die stumpfe Ecke, *a b c d e* der Binderstein, *a k* und *d l* die Richtungen der anstossenden

Läufersteine. Würde man die Stossfugen der Läufer nach den Richtungen *a t* und *d u* anordnen, so würde nicht nur ein Verschieben des Läufers leicht stattfinden können, sondern es würden auch in *a* und in *d* spitze Winkel sich bilden, die beim Steinverbande durchaus zu vermeiden sind. Die ebene Stossfuge in der Richtung *a t* wird deshalb gebrochen nach *a g f h* i. Um die Punkte *g*, *f*, *h* und *i* zu ermitteln, mache man *a f* gleich *f t*, ziehe *a g* normal auf *e k*, gebe dieser Linie zur Länge 4 bis 6 Zoll, und verbinde *g* mit *f*. Man ziehe sodann die Linie *f h* normal auf *g f*, mache ihre Länge gleich *a* g, und ziehe *h i* normal auf *f h*: die Figur *a g f h i* stellt dann die Richtung der gebrochenen Stossfuge dar.

Die zweite Stossfuge *d u* wird eben so behandelt; es wird *d m* normal auf *e d* gezogen, ihre Länge gleich 4 bis 6 Zoll gemacht, und *m* mit der Mitte *n* der Linie *d u* verbunden. Nachdem dies geschehen ist, wird *n o* normal auf *m n* gezogen, ihre Länge gleich *d m* gemacht, und *o p* normal auf *n o* construirt. — Wenn der Binder mit beiden Läufern zur Seite umgekehrt gedacht wird, so dass die Richtung *e l* in die Richtung von *e k* fallen würde, alsdann stellt die entstehende Figur die Eckverbindung der nächstfolgenden Schicht vor.

Die Figur 38. zeigt diesen umgekehrten Fall.

Zur festeren Verbindung der Schnittsteine untereinander bedient man sich zuweilen der eisernen Klammern, deren Dorn in den Steinen mit Blei, oder Schwefel, oder mit einer andern festen Kittmasse vergossen wird. Obgleich dies Verfahren jetzt immer noch gebräuchlich ist, müsste es doch meistentheils ganz und gar verworfen werden, weil die eisernen Klammern häufig mehr schaden, als nützen. Der Dorn der Klammer, durch die Wärme mehr oder weniger ausgedehnt, als die umgebende Kittmasse, löst sich bald in einer sehr feinen Fuge von der umgebenden Kittmasse. Das Eisen beginnt nun zu oxydiren, der eingeengte Dorn vergrössert dadurch sein Volumen, und wirkt nunmehr mächtig auf Zersprengen des Steins.

Es sollte deshalb das Eisen ganz und gar aus den Steinverbindungen entfernt werden. Müssen durchaus Klammern angebracht werden, so nehme man kupferne Klammern, sie leisten

eben dieselben Dienste, als die eisernen, und verhüten jenen angeführten Nachtheil. Dergleichen kupferne Klammern werden schon an vielen Monumenten des Alterthums angetroffen; auch beim Neubau des Potsdamer Thores, so wie bei der neuen Schlossbrücke in Berlin, wurden dergleichen Klammern verwendet.

Von den Mauern.

§. 8.

Ihrer Form nach theilen wir die Mauern ein in:

1) ebene gerade Mauern mit verticalen parallelen Seitenebenen;
2) ebene Böschungsmauern;
3) Mauern mit windschiefen Ebenen;
4) gerade cylindrische Mauern;
5) schiefe cylindrische Mauern;
6) kegelförmige Mauern.

1) Von den ebenen geraden Mauern mit verticalen und parallelen Seitenebenen.

§. 9.

Zweck der Mauer ist, entweder Räume abzugränzen, oder Lasten zu stützen. Es muss daher die Construction der Mauer das Gepräge der Festigkeit besitzen, damit dieselbe zum Tragen geschickt erscheine. Die Construction muss sowohl das wirkliche, als auch das scheinbare statische Gleichgewicht vermitteln, damit die Mauer den Ausdruck der Ruhe darbiete. Zu dem Ende werden gewöhnlich alle Schichten einer Mauer gleich hoch gemacht, mit Ausnahme der unteren, welche von den alten Griechen in der Regel etwas höher gehalten wurde, als die übrigen Schichten; und zwar deshalb, damit sie als diejenige ausgezeichnet werde, auf welcher das Ganze ruhe; so wie auch noch deshalb, um den festen Stand der Mauer anschaulich darzulegen.

Am einfachsten und deutlichsten wird aber das statische Gleichgewicht ausgedrückt durch die verticalen Seitenwände der Mauer, und durch die horizontale Richtung aller Schichten; denn die Schwerkraft wirkt nach lothrechter Richtung, also normal auf dem Lager der horizontalen Schichten; und es können daher

bei dieser Construction die Massen weder abgleiten, noch umkippen. Damit jedoch der Druck nicht auf einzelne Punkte des Lagers sich ungleich vertheile, woraus ein ungleichmässiger Druck auf die Steine hervorgehen würde, werden alle Lager und Fugen als vollkommene Ebenen dargestellt; denn je inniger zwei Steine in der gemeinschaftlichen Fuge sich berühren, desto grösser ist auch ihre Tragkraft. — Unter Fuge wird die Ebene oder Fläche verstanden, in welcher zwei Steine sich berühren. Die Fugen werden eingetheilt in Lagerfugen und in Stossfugen. Die Lagerfugen haben bei den Mauern in der Regel eine horizontale Richtung, und dienen als die Lager der horizontalen Schichten; die Stossfugen stehen dagegen normal auf den Lagerfugen, und haben grösstentheils eine lothrechte Richtung, so dass zwei Steine in der Stossfuge sich nur berühren, während in der Lagerfuge der eine Stein den andern unterstützt.

Die Lagerfugen heissen auch Standfugen.

Das natürliche Lager eines Steins, worauf die Steinbank in dem Bruche lagerte, ist am härtesten; auf dieses gelegt, besitzt der Stein die grösste Festigkeit. Dem zu Folge muss bei der Bearbeitung eines Steins ganz besonders darauf Rücksicht genommen werden, dass die untere Lagerfläche aus dem natürlichen Lager dargestellt werde. — Die untere Lagerfläche einer Steinbank wird das harte Lager, die obere Lagerfläche aber das weiche Lager genannt. Die übrigen Flächen heissen glatte Seiten oder Hauptseiten.

§. 10.

Zunächst der Lagerung möchte die Form der Steine in Betracht zu ziehen sein, weil diese auf die Festigkeit des Steins einen wesentlichen Einfluss hat. Es ist eine bekannte Sache, dass eine spitze Ecke zerbrechlicher ist, als eine stumpfe; insbesondere, wenn der spitze Winkel sehr klein ist. Daher sind alle spitzen Winkel möglichst zu vermeiden, wofern nicht wichtige Gründe das Gegentheil erheischen.

Die Form eines rechtwinkligen Parallelepipedums ist für Steine einer geraden Mauer die beste Form. Obgleich der Kubus eine grössere rückwirkende Festigkeit in sich vereinigt, als das Parallelepipedum, so ist dennoch seine Stabilität weit gerin-

ger, als die des Parallelepipedums; auch gewährt der Verband mit Würfeln keine solide Construction. Jedoch muss die Höhe des Parallelepipedums gegen die Länge und Breite gehörig abgewogen werden; denn allzudünne Steine zerbrechen leicht unter ihrer Last, indem theils die Steine in der ganzen Ausdehnung ihrer Lagerfläche nicht gleichmässig tragen, theils die Lagerflächen nicht vollkommen eben abgerichtet sind, theils auch eine ungleiche Senkung Statt finden kann, wodurch die unteren Steine verrückt werden. Erfahrungen sprechen dafür, dass bei Steinen von mittlerer Härte die Länge das Doppelte bis Dreifache der Höhe, ihre Breite aber $1\frac{1}{2}$ bis 2 Mal die Höhe betragen könne. Steine von bedeutender Härte, die ganz behauen, und mehr als 1 Fuss zur Höhe haben, können zur Länge die Höhe 4 bis 5 Mal, zur Breite die Höhe 2 bis 3 Mal erhalten.

§. 11.

Werden die Umfassungsmauern eines Gebäudes aus Schnittsteinen construirt, so erfordert die Eckverbindung einen sorgfältig angeordneten Steinverband, und ein gehöriges Einbinden der Ecksteine in die beiden Mauern, damit ein Ablösen der Ecke von dem übrigen Mauerwerke so leicht nicht Statt finden könne.

Auf Taf. III. und Taf. IV., Fig. 39. bis Fig. 58. haben wir den Steinverband der Ecke in sieben verschiedenen Motiven dargestellt. Fig. 39. und Fig. 40., die ersten Projektionen zweier aufeinander folgenden Steinschichten, zeigen, wie bei einer Mauer von der Stärke eines Steins, die Ecke nach dem in Fig. 22. gezeigten Steinverbande richtig construirt werden könne.

Beide Mauern der Ecke enthalten nur Läufersteine, welche in der Fronte *tf* Fig. 39. alle gleich lang sind; und nur der Läuferstein *degh* in der Fronte *fm* hat eine geringere Länge, als die übrigen Steine, damit die Stossfuge *no* Fig. 40. auf die Mitte des darunter liegenden Steins *ghqp* Fig. 39. treffe. Die Ecke wird durch den Stein *abcdef* gebildet. Derselbe hat eine solche Form, dass keine der Stossfugen *ab* und *de* dieses Steins mit der inneren Mauerkante zusammentreffen kann, was bei einer nur einen Stein starken Mauer durchaus nöthig ist.

Bei dem Mauersteinverbande gilt als Regel, dass bei der Ecke jedesmal eine der Stossfugen *ed* Fig. 39. mit der inneren

Mauerkante *c s* geradlinigt zusammentreffe, während die andere Stossfuge *a b* um die halbe Steinbreite gegen die andere innere Mauerkante *c q* zurücktrete; weil es sonst durchaus nicht erreicht werden kann, dass nicht Fuge auf Fuge zu stehen komme.

Die Construction in Schnittsteinen liefert aber, wegen der grösseren Dimensionen der Steine, weniger Fugen, als die Construction in Mauersteinen, und es ist deshalb der Befürchtung, dass Fuge auf Fuge treffen könne, hier weniger Raum zu geben. Ueberdies erheischen gute Gründe, dass bei Gewölben und bei schwachen, nur einen Stein starken Mauern, welche aus Schnittsteinen construirt werden, in der Durchschnittslinie zweier verschiedenen Systeme, keine Stossfuge Statt finde.

Bei der Verbindung der Mauersteine kann auf Bindung des Mörtels viel gerechnet werden; denn Erfahrungen sprechen dafür, dass bei einem gehörig ausgetrockneten Mauerwerk, dessen Mörtel in dem richtigen Verhältnisse gemengt, und die Mauersteine bei der Verarbeitung auch gehörig genässt wurden, eher die Mauersteine zerbrechen, als dass eine der Mörtelfugen sich löste. Dieser Umstand findet aber bei Schnittsteinen nicht Statt; denn eines Theils werden die Schnittsteine vielfältig ohne irgend eine Mörtelverbindung versetzt; andern Theils aber ist bei einer Verbindung der Sandsteine vermittelst Kitt oder Mörtel die Fuge so fein, und daher die Mörtelverbindung gegen die Masse des Steins so geringfügig, der materielle Hebel einer nachtheilig einwirkenden Kraft, wegen der bedeutenden Form des Steins, möglicherweise aber so gross, dass man auf die respective Festigkeit der Mörtelverbindung in allen Fällen nicht viel geben darf.

Die Form des Ecksteins muss daher von der Art sein, dass derselbe in die beiden Mauern der Ecke gut einbinde Dies wird aber dadurch erreicht, dass man dem Stein sogenannte Flügel giebt, mit denen er in beide Mauern einbindet. Diese beiden Flügel haben zur Länge in der einen Mauer die Linie *c d*, in der andern Mauer aber die Linie *c b*. Diese Längen dürfen nicht gleich gross sein, damit eine gehörige Wechselung der Flügel der übereinanderliegenden Ecksteine Statt finden könne.

Die Form des Ecksteins Fig. 40. ist genau dieselbe, als die Fig. 39.; es erscheint derselbe hier nur in der umgekehrten Lage.

Fig. 41. stellt eine perspectivische Ansicht dieser Ecke vor.

Die Figuren 42., 43. und 44. zeigen die Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer, ausgeführt in dem Steinverbande von Fig. 22.

Auch hier ist die Anordnung so getroffen worden, dass keine der Stossfugen eines Ecksteins in die Richtung der inneren Mauerkante treffe.

Der Verband der Mauer ist aus Läufersteinen gebildet, welche in der vorderen Ansicht alle gleiche Länge haben; denjenigen Läufer zur Seite des Ecksteins ausgenommen, welcher abwechselnd eine geringere Länge hat, als die übrigen Steine, welches zur Vermittelung eines richtigen Fugenschnittes nothwendig ist.

Damit in der Mitte der Mauer, nach der Länge derselben, nicht etwa Fuge auf Fuge treffe, erhalten die Steine der vordern Reihe eine ungleiche Breite mit denen der hintern Reihe, und zwar in der Art, dass, wenn in der einen Schicht, wie Figur 42., die vordere Steinreihe die grössere Breite einnimmt, alsdann in der darauf folgenden Schicht, Fig. 43., die hintere Reihe die grössere Breite erhält. Da aber bei dieser Construction der Mauer kein einziger Stein durch die ganze Mauerdicke hindurchreicht, kann der innige Verband der Steine, welcher in den folgenden Mauerconstructionen Statt findet, hier nicht wohl erreicht werden.

Einen weit zweckmässigern Verband der zwei Stein starken Mauer zeigen Fig. 45., Fig. 46. und Fig. 47.; da hier Läufer und Bindersteine in jeder Lagerschicht fortwährend mit einander wechseln, und die Bindersteine die ganze Mauerdicke einnehmen. Die zwei nebeneinander liegenden Läufersteine, welche zwischen je zwei Bindersteinen liegen, haben eine ungleiche Breite; dies ist nothwendig, weil sonst in den übereinander liegenden Steinschichten stellenweis Fuge auf Fuge treffen würde. Dieser Umstand konnte bei dem in Fig. 23. gegebenen Steinverbande nicht berücksichtigt werden, wenn gleich das Princip der Bildung dasselbe war; denn es galt dort, eine zwei Stein starke Mauer aus Steinen von völlig gleichen Dimensionen zu construiren.

Bei der Construction der Ecke haben wir zwar in der einen

Schicht Fig. 45. das Zusammentreffen der Stossfugen des Ecksteins mit den inneren Mauerkanten sorgfältig vermieden; hielten jedoch aber dasselbe in der darauf folgenden Schicht Figur 46. eben nicht für durchaus nothwendig. Es dürfen aber die beiden inneren Mauerkanten nicht mit den Stossfugen des Ecksteins zusammentreffen, indem die eine der Mauerkanten jedenfalls auf die Mitte eines an der Ecke liegenden Steins treffen muss, wenn ein guter solider Verband hervorgehen soll.

Eine andere Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer wird in Fig. 48. bis Fig. 52. gezeigt.

Fig. 48. und Fig. 49., zwei aufeinander folgende Steinschichten, in der Motive des Steinverbandes der gebrannten Mauersteine construirt, enthalten in der einen Mauerfronte nur Läufersteine, und in der andern nur durchgehende Bindersteine. In den zwei zusammengehörigen Schichten Fig. 50. und Fig. 51. enthält dagegen die eine Schicht in beiden Mauerfronten der Ecke nur Läufersteine, während in der andern nur Bindersteine vorkommen.

Fig. 52. ist eine perspectivische Ansicht der in der letzten Motive construirten Ecke.

Die Construction der Ecke einer drei Stein starken Mauer zeigen Fig. 53., Fig. 54. und Fig. 55. Das Princip des Steinverbandes ist das von Fig. 25., da die eine Steinschicht Fig. 53. nur Läufersteine enthält, während in der darauf folgenden Figur 54. nur durchgreifende Bindersteine vorhanden sind, wodurch ein sehr guter und solider Verband erhalten wird. Fig. 55. zeigt die perspectivische Ansicht dieser Ecke.

In dem Princip des Steinverbandes Fig. 26. wird die Construction der Ecke einer 3 Stein starken Mauer nach Fig. 56., Fig. 57. und Fig. 58. angeordnet. Die Figuren 56. und 57. zeigen zwei aufeinander folgende Steinschichten, und Fig. 58. die perspectivische Ansicht der Ecke.

Treffen zwei Mauern rechtwinklig zusammen, wie dies bei den Mittelwänden und Scheidewänden eines Gebäudes der Fall ist, so zeigen die Figuren 59. bis 63. die Anordnung des Steinverbandes. Wobei wir jedoch noch bemerken wollen, dass, wenn mehrere Mauern sich begegnen, um einen Raum abzuschliessen,

oder um ihn im Innern einzutheilen, alsdann jede Steinschicht irgend einer Mauer mit der correspondirenden Schicht der andern Mauer, mit der sie in Berührung kommt, durchaus einerlei Höhe haben muss, damit die Lagerfugen des ganzen Mauersystems in horizontale Ebenen zu liegen kommen.

§. 12.

Die Bearbeitung eines Steins der geraden Mauer geschieht nun in folgender Art:

Es wird ein roher Stein gewählt, welcher den Dimensionen des darzustellenden Steins, ohne bedeutende Abzüge zu veranlassen, ziemlich entspricht. Sodann wird derselbe so aufgebänkt, dass das natürliche Lager oben zu liegen kommt. Dieses Lager wird nun in der Art bearbeitet, dass es eine vollkommene Ebene darstellt.

Die Geometrie lehrt, dass eine Ebene durch drei Punkte bestimmt werde, die nicht in eine gerade Linie fallen; oder durch zwei sich schneidende Linien, oder auch durch zwei parallele Linien. In der Regel wählt der Steinmetz das zweite Princip, oder das dritte, indem er die zu bearbeitende Ebene vermittelst zweier sich schneidenden Linien, oder mittelst zweier parallelen Linien darzustellen sucht. Zu dem Ende macht er längs einer Kante *a* des zu bearbeitenden Steins mit dem Eisen einen Riss, arbeitet daran einen Schlag und ebnet denselben mit Hülfe des Richtscheits. Auf diesen geebneten schmalen Streifen legt er sodann ein Richtscheit an, und zieht in der angrenzenden Seitenebene an derjenigen Kante, welche mit der Kante *a* in einerlei Ebene sich befindet, ihr aber gegenüberliegt, eine gerade Linie in der Art, dass, wenn ein zweites Richtscheit an diese Linie angelegt wird, die Unterkanten beider Richtscheite, von der Seite mit einem Auge angesehen, in einander zu fallen scheinen, ohne sich zu durchkreuzen. Eine Operation, welche vom Steinmetz Einsehen genannt wird.

Längs dieser Linie macht sodann der Arbeiter einen zweiten Schlag, richtet ihn gehörig ab, und verbindet diesen Schlag mit dem zuerst angefertigten vermittelst eines dritten Schlages an einer der beiden übrigen Kanten der zu bearbeitenden Ebene. Mit Hülfe dieser drei gut abgerichteten Schläge wird die Ebene

vollends bearbeitet, indem der Arbeiter von Zeit zu Zeit das Richtscheit in verschiedenen Richtungen an die zu bearbeitende Fläche anlegt, um zu untersuchen, ob dasselbe die Fläche auch in allen Punkten innig berühre.

Die fertig bearbeitete Ebene in dieser Manier darzustellen, nennt man die Bearbeitung der Fläche nach Schlägen.

Grössere Flächen erfordern eine grössere Sorgfalt bei ihrer Bearbeitung; aus zwei oder drei Schlägen ist hier die Ebene nicht sicher darzustellen. Deshalb macht der Steinmetz zunächst an den Kanten der zu bearbeitenden Fläche rings herum einen Schlag, theilt dann die ganze Fläche in vier Theile, indem er auf der Mitte der Fläche zwei Schläge bearbeitet, welche rechtwinklig sich durchkreuzen. Diese Kreuzschläge werden mit den anfänglich gemachten Schlägen gehörig abgeebnet, und, nachdem dies geschehen ist, wird ein jedes von den vier Feldern, welche zwischen den gemachten Schlägen sich befinden, einzeln bearbeitet.

Nachdem das natürliche Lager eines Steins in der beschriebenen Weise bearbeitet worden ist, werden die angränzenden Seitenebenen mit Hülfe des fertigen Lagers abgewinkelt und bearbeitet; und dann erst, nachdem dies vollbracht ist, wird das obere Lager des Steins bearbeitet.

Einen fertigen Stein in dieser Art und Weise darzustellen, nennt man die Bearbeitung des Steins aus dem Lager.

Das Abwinkeln der Seitenebenen muss mit der grössten Genauigkeit und Sorgfalt verrichtet werden, wenn die richtige Form hervorgehen soll.

Die Geometrie lehrt, dass eine Ebene E normal stehe auf einer anderen Ebene F, wenn sie durch eine Linie gelegt ist, welche auf F normal steht. Es kommt daher zunächst darauf an, dass der Arbeiter in dem Umfange des Steins eine gerade Linie $a\,b$ construire, welche auf der fertigen Grundebene normal stehe.

Eine Linie steht aber auf einer Ebene normal, wenn sie mit zwei sich schneidenden geraden Linien in dieser Ebene, im Durchschnittspunkte beider, rechte Winkel bildet.

Um daher die Linie $a\,b$ auf der fertigen Grundebene des Steins normal zu construiren, zieht der Arbeiter in der Grund-

ebene durch den Punkt *a*, in welchem die Normale construirt werden soll, zwei gerade Linien *a c* und *a d*. Sodann legt er den einen Schenkel des Winkeleisens an die Linie *a c* so an, dass die längs des andern Schenkels gezogene Linie zugleich auch mit *a d* einen rechten Winkel bildet. Die so erhaltene Linie steht auf der fertig bearbeiteten Grundebene normal.

Die darzustellenden Ebenen in dem Umfange des Steins können verschiedentlich, je nach Erforderniss des Bauwerkes, bearbeitet werden.

Es werden nämlich die Flächen entweder nur gespitzt, oder sie werden gekrönelt, oder ordinair scharrirt, oder gut scharrirt und aufgeschlagen, oder ganz rein gearbeitet und geschliffen, oder geschliffen und mit feinen Quadern bearbeitet, oder endlich geschliffen und mit Spiegelquadern bearbeitet.

Um eine gut scharrirte Fläche darzustellen, wird die zu bearbeitende Fläche zunächst gespitzt, das heisst: es wird dieselbe mit dem Spitzeisen oder mit der Zweispitze ein Mal überarbeitet, indem der Arbeiter die grössten und besonders in die Augen fallenden Unebenheiten mit dem Spitzeisen möglichst zu beseitigen sucht. Nachdem dies geschehen ist, wird die Fläche gekrönelt, indem der Arbeiter mit dem Kröneleisen in parallelen Richtungen Schlag an Schlag macht, das Kröneleisen dabei stets in einer schrägen, gegen den Stein geneigten Lage, haltend. Durch ein Ueberarbeiten der Fläche in dieser Art werden die kleinen Erhöhungen, welche beim Spitzen noch verblieben waren, völlig beseitigt, und es hat die Fläche nun ein ganz narbiges Ansehen, da sie mit unzählig viel kleinen vertieften Punkten bedeckt ist; ein Ergebniss der vielen kleinen Spitzeisen, welche das Kröneleisen bilden. Um nun aber der Fläche dies narbige Ansehen zu benehmen, wird sie mit dem Scharrireisen nachgearbeitet, und in einer schrägen Richtung sorgfältig scharrirt, wobei die Schläge eine Richtung erhalten, welche mit einer Grund- oder Seitenkante des Steins circa 50 Grad bilden. Nach diesem Scharriren ist der Fläche das narbige Ansehen noch nicht völlig benommen; sie wird deshalb noch einmal scharrirt, aber in einer Richtung, welche parallel ist mit einer Grund- oder Seitenkante des Steins. Damit aber während der Arbeit diese Richtung genau verfolgt

werden könne, werden auf der zu bearbeitenden Fläche, in Entfernungen von 6 bis 9 Zoll, parallele Linien mit dem Blutstein gezogen, mit welchen sämmtliche Schläge parallel laufend gehalten werden.

Wird die scharrirte Fläche in der Art dargestellt, dass sämmtliche Schläge zusammenhängende gerade und parallele Streifen bilden, so wird sie eine aufgeschlagene scharrirte Fläche genannt.

Geschliffene Flächen werden dargestellt, indem die Fläche zunächst ganz glatt bearbeitet, nachher aber mit Sandsteinstücken und trocknem Sande so lange abgerieben wird, bis eine völlig glatte Fläche hervorgeht.

Alle Lagerfugen und Stossfugen sollten mit Recht abgeschliffen werden, damit die an- und aufeinanderliegenden Steine ein inniges Berühren gestatteten, und das Vergiessen derselben nicht nöthig wäre; es würde hierdurch die Solidität des Bauwerkes ausserordentlich gefördert werden. Noch jetzt wird die genaue und sorgfältige Bearbeitung der Steine antiker Monumente bewundert, so wie das scharfe Anschliessen der Steine, welches kaum ein Erkennen der Fugen verstattet; ein Ergebniss des sorgfältigen und genauen Schleifens der Fugenebenen. Nicht dem guten und vortrefflichen Material allein, welches die Alten zur Aufführung ihrer Bauwerke verwenden konnten, sondern insbesondere dieser sorgfältigen Bearbeitung ist es zuzuschreiben, dass jene Bauwerke eine beinahe ewige Dauer erhalten haben.

§. 13.

Soll irgend ein Bauwerk aus Schnittsteinen aufgeführt werden, so muss ein Musterriss von demselben angefertigt werden, welcher die einzelnen Steine und deren Verbindung untereinander in natürlicher Grösse darstellt. Wie nun aber dergleichen Musterrisse angefertigt werden, das soll später, in dem Kapitel von den Gewölben, gelehrt werden. Bei der Aufführung einer einfachen lothrechten Mauer bedarf man keines Musterrisses; der Grundriss und die Ansicht der Mauer, beide nach einem verjüngten Maassstabe gezeichnet, genügen vollständig. Sollte jedoch aber die Form eines Steins aus dem Grundrisse und aus dem Aufrisse nicht deutlich genug zu erkennen sein, so entwirft man

von demselben eine Zeichnung nach der Motive der schiefen Projection, der sogenannten Vogelperspective.

In den Paragraphen 4. und 5, wurde gezeigt, dass die Projectionen eines Punktes *a*. im Raume hervorgehen, wenn man von diesem Punkte aus gerade Linien beziehlich normal auf die drei gedachten Projectionsebenen P', P'' und P''' construirt. Diese Linien bezeichneten wir durch $a\,a'$, $a\,a''$ und $a\,a'''$; sie werden projicirende Linien des Punktes *a* genannt. Nun ist aber klar, dass diese Linien eben nicht immer nothwendig normal auf den Projectionsebenen stehen müssen, sie können vielmehr eine jede beliebig angenommene schiefe Richtung gegen dieselben haben. Ermittelt man nun die Projectionen eines Gegenstandes in der Art, dass man die projicirenden Linien unter 45 Grad geneigt gegen die Projectionsebene denkt, so nennt man diese Motive Cavalierperspective.

Wollte man z. B. das Rechteck $a'\,b'\,c'\,d'$ Fig. 64. Taf. IV. in dieser schiefen Projection zeichnen, und setzen wir voraus, dass die Figur $a'\,b'c'd'$ in einer horizontalen Ebene sich befinde, und die Seite $a'\,b'$ parallel der Grundlinie der gedachten Projectionsebene sei: so mache man $a\,b$ Figur 65. gleich lang mit $a'\,b'$, ziehe $a\,d$ und $b\,c$ unter 45 Grad geneigt gegen $a\,b$, mache ferner $a\,d$ gleich $b\,c$ gleich $b'\,c'$, und ziehe die Linie $d\,c$, so ist $a\,b\,c\,d$ die schiefe Projection vom Rechteck $a'\,b'\,c'\,d'$. Gesetzt nun, es sei $a'\,b'\,c'\,d'$ Fig. 64. die Grundebene eines Steins der geraden Mauer, und h sei seine Höhe; die Form des Steins bilde ein rechtwinkliges Parallelepipedum; es wird verlangt, diesen Stein in der schiefen Projection zu zeichnen. Zu dem Ende denke man den Stein so gelegt, dass eine Seitenebene parallel der Projectionsebene sei, construire alsdann die Grundebene $a\,b\,c\,d$ Fig. 66. in der schiefen Projection, errichte in den vier Endpunkten a, b, c und d lothrechte Linien $a\,e$, $b\,f$, $c\,m$ und $d\,n$, mache jede derselben gleich h, und verbinde die Endpunkte durch gerade Linien, so stellt die Figur $a\,b\,c\,d\,e\,f\,m\,n$ den Stein in der schiefen Projection vor. Wäre ferner $a'\,b'\,c'\,d'\,e'\,f'$ Fig. 67. ein beliebig geradlinigtes n Eck, dessen eine Seite $a'\,f'$ parallel sei der Grundlinie der gedachten Projectionsebene, so erhält man

diese Figur in der schiefen Projection, wenn man folgendermassen construirt:

Man mache Figur 68. af gleich $a'f'$ Figur 67., am gleich $a'm'$, an gleich $a'n'$, ao gleich $a'o'$, ap gleich $a'p'$, construire sodann in den Punkten m, n, o und p gerade Linien, welche normal auf af stehen, indem man dieselben unter 45 Grad Neigung gegen af zieht, mache alsdann mb gleich $m'b'$,

nc gleich $n'c'$,

od gleich $o'd'$,

und pe gleich $p'e'$,

verbinde die Punkte a, b, c, d, e und f durch gerade Linien, so ist $abcdef$ die verlangte Figur.

Eine krummlinigte Figur erhält man in der schiefen Projection, wenn man ein Netz von zusammenhängenden Quadraten über die Figur legt, und dann dies Netz in der schiefen Projection zeichnet. Mit Hülfe dieser Quadrate lässt sich die krumme Figur leicht verzeichnen. Die Figuren 69. und 70. stellen diesen Fall vor.

2) Von den ebenen Böschungsmauern.

§. 14.

Die Anordnung der ebenen Böschungsmauer beruht in der Hauptsache auf eben denselben Principien, nach welchen die ebenen geraden Mauern aufgeführt werden. Die Lagerfugen müssen eine horizontale, die Stossfugen aber eine verticale Richtung erhalten. Es sei nun $a''b''c''d''$ Figur 71. der verticale Querschnitt einer ebenen Böschungsmauer, denselben normal gedacht auf der Richtung der Mauer; $a''d''$ sei die untere und $b''c''$ die obere Breite, $a''b''$ die Höhe und $c''d''$ die Böschungslinie der Mauer. Die Linien $l''m''$, $n''o''$ und $e''f''$ seien die Durchschnittslinien der horizontalen Lagerfugen, also die Trennungslinien der vier verschiedenen Steinschichten, aus denen die Mauer besteht. Wobei angenommen worden ist, dass die Mauer ihrer Dicke nach aus einem einzigen Stein bestehe, und dass die verschiedenen Steinschichten durchaus gleiche Höhen einnehmen.

Wird aus dem Punkte c'' die gerade Linie $c''q''$ normal auf $a''d''$ gezogen, so heisst die Länge $q''d''$ die Ausladung der Bö-

schung. Die Grösse derselben ist abhängig von dem Material, welches zur Aufführung der Mauer verwendet wird. Je fester dasselbe ist, desto grösser kann auch die Ausladung $q'' d''$ genommen werden. Sandsteine verstatten eine grössere Ausladung als gebrannte Mauersteine; der harte quarzreiche Sandstein wieder eine grössere, als der weiche Sandstein. Im Allgemeinen dient jedoch als Regel, dass die Ausladung der Sandsteinmauer nicht grösser als $\frac{1}{8}$ ihrer Höhe genommen werden darf.

Die Böschung heisst n füssig dossirt, wenn die Ausladung $q'' d''$ die Höhe der Mauer n Mal in sich enthält; einfüssig daher, wenn $q'' d''$ der Höhe gleich ist; zweifüssig, wenn die Ausladung doppelt so gross ist, als die Höhe.

Um die einzelnen Steine der Böschungsmauer zuzurichten, bedient man sich der Fig. 71. als Musterriss.

Und wollte man einen Stein der untern Schicht der Mauer in der schiefen Projection verzeichnen, so mache man Figur 72. das Trapez $a\,d\,f\,e$ congruent dem Trapez $a'' d'' f'' e''$ Figur 71.; die Linie $e\,f$ parallel gedacht mit der angenommenen Grundlinie, ziehe man unter 45 Grad Neigung gegen die Linie $e\,f$ die Parallelen $e\,g$, $f\,h$, und $d\,i$, mache jede gleich lang mit der Länge des Steins, und verbinde die Punkte g und h, so wie h und i durch gerade Linien: so ist $g\,h$ parallel $e\,f$ und $h\,i$ parallel $f\,d$, und die Figur $a\,d\,f\,e\,g\,h\,i$ stellt den Stein, in der schiefen Projection gezeichnet, vor.

Damit der Steinmetz die Steine dieser Mauer mit der erforderlichen Genauigkeit und Accuratesse bearbeiten könne, ist es jedoch nothwendig, dass der Musterriss $a'' b'' c'' d''$ Fig. 71. entweder auf einer verticalen, eben und glatt geputzten Wand, oder auf einem zu diesem Behuf angeordneten horizontalen, gut zusammengefugten glatten Bretterboden, in natürlicher Grösse aufgezeichnet werde.

Die Bearbeitung des in Fig. 72. dargestellten Steins geschieht nun in folgender Art: Es wird mit Hülfe des Winkeleisens ein rechtwinkliges Parallelepipedum bearbeitet, dessen Grundfläche gleich dem Rechteck $a'' d'' v'' e''$ Fig. 71., und dessen Höhe gleich der vorgeschriebenen Länge des Steins ist. Sodann wird vermittelst der Schmiege der Neigungswinkel $a'' d'' f''$ Fig. 71., wel-

chen die Dossirung mit dem Horizonte bildet, von dem in natürlicher Grösse gezeichneten Musterrisse abgenommen und so auf die Stirnfläche $a\,d\,v\,e$ des Steins angetragen, dass der eine Schenkel der Richtung nach in die Linie $a\,d$, und der Scheitelpunkt auf den Punkt d fällt; die Richtung $d\,f$ des andern Schenkels wird dann die schräge Dossirungslinie richtig angeben. Nun wird das dreiseitige Prisma, welches zur Grundebene das Dreieck $d\,v\,f$, zur Länge aber die Linie $f\,h$ hat, von dem Parallelepipedum abgearbeitet, und damit ist der fertige Stein zugerichtet.

Einen fertigen Stein in dieser Art und Weise darzustellen, nennt man die Bearbeitung des Steins aus dem Vollen mittelst Winkel und Schmiege.

Eine andere Motive ist die Bearbeitung des Steins aus dem Vollen mittelst Winkel und Stichmaass. Es wird nämlich, wie bei der vorigen Motive, das erwähnte Parallelepipedum mittelst Winkeleisen bearbeitet, der Punkt f aber durch Stichmaass bestimmt, indem aus dem Musterrisse die Länge $v''\,f''$ genommen, und auf der Kante $v\,e$, von v nach f hin, abgetragen und die Linie $d\,f$ gezogen wird. Nach der Fig. $a\,d\,f\,e$ kann sodann der Stein bearbeitet werden.

Eine dritte Motive, die Abbrettungsmethode, ist die Bearbeitung des Steins mittelst Schablone oder Fugenbrett. Es wird nämlich nach dem Musterrisse, welcher in natürlicher Grösse gezeichnet worden ist, eine Schablone aus Eisenblech angefertigt, welche der Figur $a''\,d''\,f''\,e''$ congruent ist. Nachdem nun das Lager und die eine Stirnfläche des Steins bearbeitet worden ist, wird die Schablone so auf die Stirnfläche des Steins aufgelegt, dass ihre untere Kante zusammenfällt mit der bearbeiteten Kante des Steins. Sodann wird der Umfang der Schablone vermittelst des Blutsteins auf die Stirnfläche des Steins aufgerissen, und hiernach der Stein bearbeitet.

Die Methode, einen Stein aus dem Vollen zu bearbeiten, ist zwar sicherer als die Abbrettungsmethode, zugleich auch allgemeiner als diese, da sie fast überall angewendet werden kann, welches bei der Abbrettungsmethode nicht der Fall ist. Sie verursacht aber häufig grosse Verluste an Material, wenn der Steinmetz sie nicht nach den Umständen zu modificiren weiss.

Die Abbrettungsmethode ist theoretisch betrachtet weniger genau, da das Austragen der Leibungen und der Fugen meist nur annähernd geschehen kann. Sie hat dahingegen aber den Vortheil, je nach Umständen nur geringe Verluste an Material zu verursachen.

§. 15.

Bei Verbindungen der Schnittsteine untereinander müssen spitze Winkel vermieden werden; dies ist ein Grundgesetz der Lehre vom Steinschnitt. Im Widerspruch hiermit ist aber die Anordnung des Musterrisses der dossirten Mauer Fig. 71., indem hier die horizontalen Lagerfugen mit der Dossirungsebene spitze und stumpfe Winkel bilden. So lange jedoch die Dossirung der Böschungsmauer nur gering ist, weichen jene spitzen Winkel wenig ab vom rechten Winkel, und deshalb ist die Anordnung der Böschungsmauer nach dem Musterrisse Fig. 71. immer noch zulässig. Ist dagegen die Dossirung der Mauer bedeutend, so muss mit der Anordnung der Lagerfugen eine Aenderung vorgenommen werden, welche darin besteht, dass man die Lagerfugen nicht durch die ganze Mauerstärke hindurch nach horizontaler und gerader Richtung fortlaufen lässt, sondern diese Richtung in der Art unterbricht, dass die Lagerfugen in der Nähe der Dossirungsebene eine normale Richtung gegen diese annehmen. Nach diesem Princip ist der Musterriss Fig. 73. angeordnet. Die Längen $s'' r''$, $x'' o''$, $l'' f''$, als diejenigen Theile der Lagerfugen, welche auf der Dossirungsebene normal stehen, und dazu dienen, die spitzen zerbrechlichen Kanten zu beseitigen, haben zum Maass 4 bis 6 Zoll.

Es ist sehr zweckmässig, die Dossirung nicht in dem Fusspunkte d'' beginnen zu lassen, sondern hier die Aussenseite der Mauer, auf eine Länge $d'' e''$ von 6 bis 8 Zoll, nach lothrechter Richtung anzuordnen, und dann erst die Dossirung beginnen zu lassen. — Die Fig. 74. zeigt einen Stein der zweiten Steinschicht der Mauer, in der schiefen Projection gezeichnet. Diesen Stein zu zeichnen, denke man durch die grössten Abmessungen des Steins lothrechte und horizontale Ebenen parallel und normal zur Richtung der Mauer, so bilden diese ein rechtwinkliges Parallelepipedum, welches man zunächst verzeichnet. Um die Grundebene

dieses Parallelepipedums zu erhalten, ziehe man durch den Punkt r'' die Linie $v'' q''$ nach horizontaler, und durch o'' die Linie $p'' q''$ nach lothrechter Richtung; das hierdurch gebildete Rechteck $g'' v'' q'' p''$ ist die Grundebene des verlangten Parallelepipedums. Zur Höhe erhält dasselbe die vorgeschriebene Länge eines Steins.

Wenn man daher Fig. 74. die Linien $g' p$ und $g v$ beziehlich gleich macht den Linien $g'' p''$ und $g'' v''$, und hiermit das Rechteck $g v q p$ construirt, sodann die Linien $v y$, $q x$ und $p t$ unter 45 Grad Neigung gegen $v q$ construirt, und jede gleich der vorgeschriebenen Länge des Steins macht: so stellt die Fig. $g v q p t x y$ das erwähnte Parallelepipedum vor, durch welches der Stein eingeschlossen wird. Man mache sodann $v w$ gleich $v'' w''$, ziehe $w s$ parallel $v q$, und mache diese Linie gleich lang mit $w'' s''$; mache ferner $q r$ gleich $q'' r''$, $p o$ gleich $p'' o''$, $p x$ gleich $p'' x''$ und ziehe die Linien $s r$, $r o$ und $o x$, so stellt die Fig. $g w s r o x$ die Stirnfläche oder das Haupt des Steins vor.

Zieht man nun noch die Linien $w l$, $s i$, $r h$ und $o u$ parallel zu $v y$, und macht jede gleich lang mit $v y$, so ist $g w s r o x u h i l$ die verlangte schiefe Projection des Steins. Diesen Stein zu bearbeiten, wird zunächst erst das Parallelepipedum $g v q p t x y$ vom Steinmetzen dargestellt. Sodann wird die Schablone der Stossfuge, gebildet nach dem in natürlicher Grösse gezeichneten Musterrisse, so auf das Rechteck $g p q v$ gelegt, wie die Figur $g x o r s w$ anzeigt. Ist dies geschehen, so werden in dem Umfange der Schablone die Linien $w s$, $s r$, $r o$ und $o x$ gezogen, nach welchen der Stein alsdann bearbeitet wird.

Die Fig. 75. zeigt einen Stein der untern Schicht der Mauer. Derselbe wird gezeichnet und bearbeitet, wie dies beim vorigen Stein gelehrt worden ist.

§. 16.

Wenn gleich die Fugen einer stark dossirten Mauer mit hydraulischem Kalkmörtel, Cement oder Kitt verstrichen werden, so ereignet es sich doch sehr oft, dass dieselben nach einiger Zeit sich öffnen, und dem Regen und dem Schneewasser freien Eingang verstatten. Die Construction der dossirten Mauer nach Fig. 73 beseitigt daher zwar die zerbrechliche spitze Ecke, eröffnet dagegen aber einem sehr argen Feinde ein weites Feld,

da die ansteigenden Lagerfugen, welche in der Vorderfront der Mauer auslaufen, dem Regenwasser zwar den Eingang, aber nicht den Ausgang verstatten. Ich halte deshalb dafür, dass es zweckmässiger sei, den Musterriss der dossirten Mauer nicht nach Fig. 73., sondern nach Fig. 81. anzuordnen. Dieser Musterriss vereinigt in sich die Vortheile des vorigen, ohne dessen Nachtheile zu haben. Sämmtliche Lagerfugen haben hier in allen ihren Theilen eine horizontale Richtung, und die spitze Kante ist durch ein lothrechtes schmales Band beseitigt, welches an der untern Kante eines jeden Steins sich befindet.

Die Fig. 82. zeigt einen Stein der obersten Schicht der so construirten Böschungsmauer.

3) Mauern mit windschiefen Ebenen.

§. 17.

Zwei gerade Linien, welche weder parallel sind untereinander, noch sich schneiden, heissen windschiefe Linien. Es mögen nun zwei windschiefe Linien und eine Ebene E, welche beide schneidet, gedacht werden, so wie noch eine dritte Linie, welche längs der beiden windschiefen Linien so geführt wird, dass sie beide stets berührt, und dabei in jeder neuen Lage parallel ist mit der Ebene E. Es beschreibt alsdann die dritte Linie während ihrer Fortbewegung auf den zwei windschiefen Linien eine Fläche, welche windschiefe Ebene genannt wird. Die beiden windschiefen Linien heissen die Richtungslinien der windschiefen Ebene; die Ebene E heisst die Parallelebene, und die dritte Linie, welche längs der windschiefen Linie fortgeführt wird, heisst die Erzeugungslinie der windschiefen Ebene.

Figur 76. zeigt den Grundriss und den lothrechten Querdurchschnitt einer Böschungsmauer mit zweierlei Dossirungsebenen $p\,o\,s\,r$ und $n\,m\,q\,t$. Der Uebergang aus der einen Dossirung in die andere geschieht vermittelst der windschiefen Ebene, deren Horizontalprojection die Figur $o'\,s'\,t'\,n'$ ist. Die zwei windschiefen Linien, oder die Richtungslinien der windschiefen Ebene, sind die Linien $n\,o$ und $q\,r$.

Die Figur 77. stellt den Stein A der obersten Schicht vor, woran ein Theil der windschiefen Ebene sich befindet. Diesen

Stein in der schiefen Projection zu zeichnen, construire man wie folgt: Man ziehe die Linie *e c* Fig. 77. parallel zur Grundlinie, mache *e c* gleich *a' c'* Fig. 76., errichte in den Punkten *e* und *c* lothrechte Linien *e a* und *c d*, und mache jede gleich lang mit der Höhe *x'' y''* der obersten Steinschicht. Sodann ziehe man die Linien *e f* und *a g* unter 45 Grad Neigung gegen *e c*, mache jede dieser Linien gleich der Länge *a' g'*, ziehe *f k* parallel mit *e c*, *g f* parallel *a e*, *g i* parallel *a d*, und mache *f k* und *g i* einzeln gleich *g' k'*, ziehe die Linien *d i* und *i k*: so stellt die Fig. *e c d a g i k f* den vollen Stein vor, welcher vom Steinmetzen zunächst bearbeitet werden muss, um den verlangten Stein darzustellen. Ferner mache man *d b* gleich *c' b'*, *i h* gleich *k' h'* und ziehe die Linien *c b*, *b h* und *h k*: so stellt die Fig. *c b h k* den Theil der windschiefen Ebene vor, welchen dieser Stein als Böschungsseite haben muss.

Die Fig. 78. zeigt den Grundriss und den Querdurchschnitt einer Böschungsmauer mit zweierlei Dossirungen, welche gleichfalls durch eine windschiefe Ebene unter einander verbunden werden. Dieser Musterriss unterscheidet sich von dem vorigen darin, dass hier der Unterschied beider Böschungen bedeutend grösser ist, als dies vorhin der Fall war. Die Anordnung der Stossfugen muss daher auch hier anders ausfallen, als vorher; weil die auf der Richtungslinie $\eta' x'$ der Mauer normal stehenden Stossfugen mit der windschiefen Ebene zu spitze Winkel bilden würden, wenn man sie durch die ganze Mauerstärke in einerlei Richtung hindurch gehen liesse. Alle Stossfugen müssen auf den Aussenseiten der Mauer normal stehen; allein in dem gegenwärtigen Falle ist dies nicht möglich, wenn die Stossfugen als Ebenen gehalten werden sollen. Nur dann, wenn sie als windschiefe Ebenen gedacht werden, würde es möglich sein, denselben eine solche Lage zu geben, dass sie normal ständen auf den Aussenseiten der Mauer. Als Stossfuge ist aber die windschiefe Ebene, wegen ihrer schwierigen Bearbeitung, nicht anwendbar, und man sucht deshalb lieber der ebenen Stossfuge eine solche Richtung zu geben, dass sie wenigstens auf der Mittellinie der Aussenseite der Steinschicht normal stehe. Diese Richtung zu erhalten, halbire man die Linien $t' u'$ in r' und $\beta' \gamma'$ in f', ziehe

die Linie $r' f'$, und unterbreche die Richtung der Stossfugen in der Art, dass sie auf der Linie $r' f'$ normal stehen. Dadurch erhält man die Richtungen der Stossfugen $d' b'$ und $p' l'$, deren Länge in der Weise festgesetzt wird, dass $c' b'$ gegen 8 bis 12 Zoll beträgt. Errichtet man sodann in dem Punkte c' die Linie $c' s$ normal auf $c' d'$, und macht die Länge dieser Linie gleich der Höhe einer Steinschicht, verbindet die Punkte s und d' durch eine gerade Linie, und zieht $s q$ parallel mit $d' b'$, so stellt $b' d' s q$ den niedergeschlagenen Theil der Stossfuge vor, welcher auf der Linie $f' r'$ normal steht.

Um nun den Stein B in der schiefen Projection zu zeichnen, construire man wie folgt:

Man ziehe die Linie $g d$ Figur 79. parallel zur Grundlinie, und mache sie mit der Linie $g' d'$ Fig. 78. gleich lang. Errichte dann in g und d die Normalen $g z$ und $d y$, mache beide mit $c' s$, der Höhe der Steinschicht, gleich gross; ziehe die Linien $g \alpha$ und $z h$ unter 45 Grad Neigung gegen $z y$, und mache beide gleich der Länge $g' h'$ Fig. 78. Ziehe ferner die Linien $\alpha \pi$ und $h l$ parallel mit $g d$, und mache beide gleich lang mit $h' l'$; sodann nehme man $g \varepsilon$ und $z a$ einzeln gleich $g' a'$ Fig. 78., ziehe $a b$ und $\varepsilon \varphi$ parallel zu $g d$, und mache beide gleich der Länge $a' b'$. Ferner nehme man $a o$ gleich $a' o'$, ziehe $o c$ parallel $z y$ und mache diese Linie mit $o' c'$ gleich lang; verbinde die Punkte ε und a, b und c, c und d, d und φ durch gerade Linien: so stellt die Figur $a b c d \varphi \varepsilon$ die vordere gebrochene Stossfuge des Steins B vor, wovon der Theil $a b \varphi \varepsilon$ normal steht auf der Richtung der Mauer, während der andere Theil $b c d \varphi$ auf der Mittellinie $r f$ der windschiefen Ebene $t u \gamma \beta$ normal steht. Construirt man nun die zweite Stossfuge $h l n p \pi \alpha$ in eben derselben Weise, und verbindet man alsdann die zusammengehörigen Punkte durch gerade Linien, so erhält man den Stein B, gezeichnet in der schiefen Projection. In ähnlicher Weise verfährt man, um den Stein zu zeichnen, dessen Horizontalprojection mit C' Fig. 78. bezeichnet ist. In Fig. 80. haben wir die Zeichnung von diesem Stein gegeben.

Es darf nicht übersehen werden, dass die Durchschnittslinie der Stossfugen und der windschiefen Ebene hier nicht parallel

sind, indem sie sämmtlich normal stehen auf den Mittellinien desjenigen Theils der windschiefen Ebene, welcher an jeder einzelnen Steinschicht sich befindet. Aus diesem Grunde können diese Linien auch keine lothrechte Richtung annehmen, wie dies sonst bei den Mauern der Fall ist. Ausser den Steinen *B* und *C*, noch andere Steine in der schiefen Projection zu zeichnen, möchte überflüssig sein, da deren Construction von dem Bisherigen nicht abweicht.

4) Von den geraden cylindrischen Mauern.

§. 18.

Es sei Figur 83. der Grundriss einer cylindrischen Mauer, deren Grundebene von zwei concentrischen Kreisen gebildet wird. M' sei der Mittelpunkt der Kreise, $M'a'$ der Radius des grössern und $M'b'$ der des kleinern Kreises. Alle Lagerfugen erhalten hier eine horizontale, alle Stossfugen eine lothrechte Richtung. Damit die Stossfugen auf den kreisrunden Mauerflächen normal stehen, muss deren Richtung durch den Mittelpunkt M' gehen. Soll nun ein Stein dieser Mauer, etwa der Stein *E*, in der schiefen Projection gezeichnet werden, so construire man wie folgt:

Durch den Punkt d' Figur 83. ziehe man die Linie $e'c'$ normal auf $a'b'$, und durch den Punkt f' die Linie $g'e'$ parallel mit $a'b'$, und vollende das Rechteck $a'c'e'g'$. Die Linie $a'g'$ benutze man nun als Abscissenachse, nehme auf derselben die Punkte q', l', k', h' beliebig an, und construire die auf $a'g'$ normalstehenden Ordinaten $q'r'$, $l'p'$, $k'm'$ und $h'd'$, so erhält man durch diese die richtige Lage der Punkte r', p', m', d', i', n' und o'.

Sodann zeichne man diese Figur in der schiefen Projection. Zu dem Ende ziehe man die Linie ac Fig. 84. parallel mit der angenommenen Grundlinie der Zeichnung, und mache deren Länge gleich $a'c'$ Fig. 83. Ferner ziehe man unter der schiefen Richtung die Linien ag und ce, mache beide mit $a'g'$ gleich lang, und verbinde die Punkte g und e durch eine gerade Linie: so ist die Figur $acegg$ das Rechteck $a'c'e'g'$ Fig. 83., gezeichnet in der schiefen Projection. Sodann mache man ab gleich $a'b'$, ed gleich $e'd'$, ef gleich $e'f'$ und ziehe die Linie fd. Um nun

noch einen Punkt n der Kreislinie zu erhalten, nehme man $a\,k$ gleich $a'\,k'$ Fig. 83., ziehe $k\,m$ parallel zu $a\,c$, und mache $k\,n$ gleich $k'\,n'$, so ist n die richtige Projection des Punktes n'. Um noch den Punkt m zu erhalten, braucht man nur $k\,m$ gleich $k'\,m'$ zu machen. In eben der Weise findet man die Punkte r, p, o und i, durch welche die Curven $a\,f$ und $b\,d$ gelegt werden können. In den Punkten a, b, c und e construire man nun die lothrechten Linien $a\,s$, $b\,t$, $c\,u$, $d\,w$, $e\,v$, und mache jede gleich lang mit der Höhe der Steinschicht; construire sodann die Curve $t\,w$ in eben der Art, wie $b\,r\,p\,m\,d$ gefunden wurde, so ist $s\,t\,b\,a\,f\,d\,w$ die schiefe Projection von einem Stein der cylindrischen Mauer.

Um diesen Stein zu bearbeiten, zeichnet man die eine Hälfte des Grundrisses Fig. 83. auf eine Ebene in natürlicher Grösse, trägt die Stossfugen richtig auf, und fertigt nach der Fig. $a'\,f'\,d'\,b'$ eine Schablone aus Eisenblech. Sodann bearbeitet der Steinmetz zunächst erst das Parallelepipedum $a\,g\,e\,c\,s\,u\,v$ Fig. 84., legt dann auf das obere Rechteck $a\,g\,e\,c$ jene Schablone so, dass die Linie $a\,b$, in die Linie $a\,b$, und der Punkt d in die Kante $c\,e$ zu liegen kommt; zeichnet dann mittelst Blutstein oder Röthel den Umfang der Schablone auf den Stein, und bearbeitet hiernach das Lager des Steins und dessen übrigen Begrenzungen.

§. 19.

Es sei ferner Figur 85. der Grundriss einer cylindrischen Mauer, deren Grundebene von Ellipsen gebildet wird. $a'\,b'$ sei die grosse, $d'\,c'$ die kleine Achse der innern Ellipse, und m' der Durchschnittspunkt beider Achsen. Die Punkte p' und q' seien die Brennpunkte, welche erhalten werden, wenn man die Länge $m'\,a'$ in den Zirkel nimmt, und mit dieser Zirkelöffnung aus dem Punkte c' zwei Kreisbogen beschreibt, von welchen die grosse Achse $a'\,b'$ in den Punkten p' und q' geschnitten wird. Die Richtung der Stossfugen darf hier nicht durch den Mittelpunkt m' gehen, weil sie alsdann auf der innern elliptischen Fläche der Mauer nicht normal stehen würden. Denn nur die Richtung der Curvennormale steht normal auf der innern elliptischen Fläche der Mauer; und es muss deshalb die Richtung der Stossfuge irgend eines Punktes n mit der Richtung der Normale dieses Punktes zusammenfallen. — Für den Punkt n' wird daher die

Richtung der Stossfuge gefunden, wenn man die Linien $p' n'$ und $q' n'$ zieht, den Winkel $p' n' q'$ durch die gerade Linie $r' n'$ halbirt, diese bis o' verlängert: so ist $o' r'$ die Richtung der Normale für den Punkt n', also auch die Richtung der Stossfuge des Punktes n'.

5) Von den schiefen cylindrischen Mauern.

§. 20.

Wir denken zwei Böschungsmauern, deren Richtungen unter einem spitzen Winkel sich begegnen. Ihre Dossirungen seien gleich oder ungleich, ihre oberen Mauerstärken aber gleich. Die Anzahl der Mauerschichten sei in beiden Mauern dieselbe, und die Höhen dieser Schichten seien beziehungsweise in der einen Mauer so gross, als die in der andern. Die Figur $A'' G'' H'' L''$ Fig. 86. sei der verticale Durchschnitt der einen Böschungsmauer, und $Q'' R'' S'' T''$ der Durchschnitt der andern Böschungsmauer, jeden Durchschnitt normal auf der Richtung der Mauer gedacht. Die Figur $A' H' z' s' e' R' T' v' u'$ stelle den Grundriss beider Mauern vor, welche in ihrer Begegnung vermittelst eines schiefliegenden Cylinderstückes verbunden werden, dessen Horizontalprojection die Figur $z' p' u' v' \alpha' \sigma' e' s'$ vorstellt. Die Anordnung dieser schiefen cylindrischen Mauer geschieht nun wie folgt:

Man halbire den Winkel $A' P' T'$, welchen die ersten Projectionen der unteren Böschungskanten mit einander bilden, so wie auch den Winkel $G' \gamma' S'$, welchen die Horizontalprojectionen der oberen Böschungskanten mit einander bilden. Hierdurch erhält man die Richtung der Linien $P' t'$ und $\gamma' m'$. Sodann verbinde man die Punkte P' und γ' durch eine gerade Linie $P' \gamma'$, nehme in der Linie $P' t'$ den Punkt t' so an, dass die von demselben auf die Linie $A' P'$ normal gezogene Linie $t' u'$ gleich dem Radius der Grundfläche des schiefen Cylinders ist, durch dessen Fläche die Vereinigung der beiden Böschungen vermittelt werden soll. Sodann ziehe man die gerade Linie $t' m'$ parallel mit $P' \gamma'$ so wird sie in m' der geraden Linie $\gamma' m'$ begegnen, wodurch ein Parallelogramm $P' \gamma' m' t'$ gebildet wird. Aus dem Punkte t' ziehe man ferner die Linie $t' v'$ normal auf $P' T'$, und aus m' die Linien $m' p'$ und $m' \alpha'$ beziehlich normal auf die Linien $G' \gamma'$ und

$\gamma' S'$; verbinde sodann die Punkte α' und v', so wie p' und u' durch gerade Linien, so sind die Linien $p' u'$ und $\alpha' v'$ die Horizontalprojectionen derjenigen Linien, in welchen die schiefe Cylinderfläche von den Böschungsebenen tangirt wird. Die Linie $t' m'$ wird die Horizontalprojection der Achse des Cylinders vorstellen.

Um die Horizontalprojectionen der Richtungslinien des Cylinders zu bekommen, beschreibe man aus dem Punkte t' als Mittelpunkt mit $t' u'$ als Radius, den Kreisbogen $u' v'$; ferner aus dem Punkte m' die beiden Kreisbogen $\varkappa' \sigma'$ und $p' \alpha'$, so stellen diese Bogen die Horizontalprojection von der untern und von der obern Richtungslinie der cylindrischen Mauer vor. Die Projection der Begrenzungen der schiefen Cylinderfläche wären nun festgestellt; es fehlen aber noch die Horizontalprojectionen der Kanten der verschiedenen Steinschichten dieses Mauersystems. Diese zu erhalten, theile man die Linie $t' m'$ in so viel gleiche Theile, als die Mauer Steinschichten hat; hier also in 3 gleiche Theile. Dadurch erhält man die Punkte 3 und 5. Aus dem Punkte 3 beschreibe man nun den Kreisbogen $3 \varrho' \mu' 3$, und aus dem Punkte 5 den Kreisbogen $5 o' \beta' i' 5$, so sind diese Kreisbogen die Horizontalprojectionen von den Kanten der Steinschichten der cylindrischen Mauer.

Wir kommen zur Anordnung der Stossfugen in diesem Mauersystem. Hier begegnen wir demselben Umstande, welcher bei der windschiefen Ebene Statt fand; die Stossfugen müssten nämlich windschiefe Ebenen sein, wenn sie in allen Theilen auf den Aussenseiten normal stehen sollten. Da man nun aber die Stossfugen niemals als eine windschiefe Ebene bearbeiten wird und kann, so giebt man denselben eine solche Richtung, dass die ebene Stossfuge auf der Mittellinie der cylindrischen Aussenseite der Steinschicht normal steht. Diese Richtung zu erhalten, halbire man die gerade Linie $A'' C''$ in B'', projicire den Punkt B'' auf die Linie $u' p'$, so erhält man den Punkt 2. Sodann halbire man die Länge $t' 3$ auf der Linie $t' m'$ in dem Punkte 2, beschreibe aus diesem Punkte mit dem Radius $t' u'$ des Cylinders den Kreisbogen $2 \pi' \varphi' 2$, und ordne die Stossfugen $\omega' \varrho'$ und $\psi' \mu'$ so an, dass sie in den Punkten π' und φ' auf dem construirten

mittleren Kreisbogen normal stehen, ihre Richtung daher durch den Mittelpunkt 2 dieses Kreisbogens geht. Diese Richtung darf die Stossfuge aber nicht durch die ganze Dicke der Mauer hindurch beibehalten; sondern sie muss in einer Entfernung von 10 bis 12 Zoll von der äussern Cylinderfläche eine solche Richtung annehmen, welche auf der entgegengesetzten lothrechten Cylinderfläche der Mauer, also auf der inwendigen runden Fläche, normal steht. Man sieht dies deutlich am obersten mittleren Stein C'_2; die Stossfugen $o'q'$ und $i'\lambda'$ stehen normal auf dem mittleren Bogen $6\,h'\,6$, indem ihre Richtung durch den Mittelpunkt 6, in der Linie $t'm'$ geht. Diese Richtung behalten sie aber nur bis zu den Punkten r' und f', indem sie von hier aus nach dem Mittelpunkt m' sich hinwenden, damit sie auf dem Bogen $e's'$ normal stehen.

§. 21.

Wir kommen zum Zeichnen der Steine der im vorigen Paragraphen beschriebenen Mauerconstruction. In Bezug auf die Bearbeitung der Steine hat das Entwerfen einer perspectivischen Zeichnung von jedem einzelnen Stein der Mauer durchaus keinen reellen Nutzen weiter; es müssten denn die Formen der Steine so mannigfaltig zusammengesetzt sein, dass die Projectionen im Grundriss und im Aufriss nicht ausreichend wären, dem Arbeiter ein klares Bild von dem darzustellenden Stein zu geben. Nur in diesem Falle ist es nothwendig, dem Arbeiter auch noch eine perspectivische Zeichnung von dem darzustellenden Stein zu geben.

Diese Zeichnung fertigt man entweder in dem Princip der Linear-Perspective, oder in dem Princip der schiefen Projectionen. Letzteres ist gebräuchlicher.

Um einen Stein von zusammengesetzter Form in der schiefen Projection zu zeichnen, befolgen wir zweierlei Manieren: nämlich:

I. Der darzustellende Stein wird in einer solchen Lage gedacht, bei welcher die schwierigsten Constructionstheile in Ebenen fallen, welche mit der angenommenen Projectionsebene parallel sind.

II. Der darzustellende Stein wird aus seinen Coordinaten construirt.

Das erste Verfahren hat sein Gutes, indem alle die Punkte, welche in Ebenen sich befinden, die mit der Projectionsebene parallel sind, in der Zeichnung ihr geometrisches Verhältniss gegen einander beibehalten; wodurch man in den Stand gesetzt wird, nicht allein diese Punkte zu einem geometrischen Bilde leicht vereinigen zu können, sondern auch die übrigen Grenzpunkte des Steins, welche in geneigten Ebenen sich befinden, mit Hülfe der bereits ermittelten Punkte, festzustellen.

Dies Verfahren ist jedoch nicht überall und durchweg anzuwenden, und es ist deshalb nothwendig, dass man auf einem anderen geeigneten Wege zum Ziel zu gelangen suche. Dies geschieht aber am einfachsten und auf dem natürlichsten Wege, wenn man den Stein aus seinen Coordinaten darzustellen sucht. Zu dem Ende denke man ein rechtwinkliges Parallelepipedum, dessen eine Seitenebene zusammenfällt mit einer Grundebene oder einer Aussenseite des Steins, und nehme die grössten Dimensionen des Steins als Abmessungen dieses Parallelepipedums. Nun ist aber bekannt, dass ein Punkt im Raume durch die Coordinaten bestimmt wird, welche in Bezug auf drei unter einem rechten Winkel sich schneidende Ebenen gemessen werden.

Unter Coordinaten die drei Entfernungen eines Punktes von den drei erwähnten Ebenen verstanden. Wenn man daher die drei in einer Ecke zusammenstossenden Ebenen des Parallelepipedums in der Art benutzt, dass man die Entfernungen der zu bestimmenden Punkte des Steins in Bezug auf diese Ebene misst, und diese Längen nach der Methode der schiefen Projection aufzeichnet, so wird man dadurch eine richtige Zeichnung des Steins erhalten.

Hierbei ist nothwendig, dass die Projectionen sämmtlicher Grenzpunkte des zu zeichnenden Steins im Grundriss und im Aufriss genau festgestellt sind. — Anstatt der drei auf einander normal stehenden Ebenen kann man sich auch bloss dreier Linien, welche auf einander normal stehen, als Coordinaten-Achsen bedienen, indem man im Grundriss geeignete Achsen ermittelt, auf welche die Entfernungen der Grenzpunkte des Steins bezogen werden können. Diese Achsen werden dann nach der Methode der schiefen Projection aufgetragen, und normal auf denselben

die Höhen abgesetzt, durch welche alle die Punkte bestimmt werden, welche in dem Umfange des Steins sich befinden.

Es ist einleuchtend, dass dies Verfahren in jedem Falle anwendbar sei.

Gesetzt nun, man wolle den oberen Stein B_2, dessen Horizontalprojection die Figur $z' s' r' q' o' F' G' H'$ vorstellt, nach der Methode der schiefen Projection zeichnen, so ziehe man durch den Punkt s' die Linie $y' N'$ normal auf $A' N'$, und durch den Punkt o' die Linie $x' y'$ parallel mit $A' N'$: so erhält man ein Rechteck $F' N' y' x'$, welches als die Grundebene desjenigen Parallelepipedums angesehen werden kann, durch welches der Stein B_2 eingeschlossen wird. Zur Höhe würde dieses Parallelepipedum die Höhe $H'' I''$ der obersten Steinschicht bekommen. Dieses Parallelepipedum wird nun zunächst in der schiefen Projection gezeichnet; dadurch erhält man die Figur $F x_3 N y_2 x_2 xy$ Fig. 88. Um nun die Projection des Steins zu bekommen, mache man

$x_3 G$	Fig. 88.	gleich	$F' G'$	Fig. 86.		
NH	-	-	$N' H'$	-	-	
Ns	-	-	$N' s'$	-	-	
$F5$	-	-	$F' 5$	-	-	
xo	-	-	$x' o'$	-	-	

verbinde die Punkte F und G Fig. 88. durch eine gerade Linie, ziehe die Linien Gp und Hz parallel mit $F5$, mache Gp gleich $G' p'$ Fig. 86, Hz aber gleich $H' z'$. Bestimme sodann die Punkte r und q durch rechtwinklige Coordinaten, indem man in Fig. 86. die Linie $N' y'$ als Abscissenlinie annimmt, und aus den Punkten r' und q' Normalen auf dieselbe fällt, so erhält man die den Punkten r und q entsprechenden Abscissen und Ordinaten. Diese Abscissen trage man nun auf die Linie $N y_2$ Fig. 88., errichte in deren Endpunkten Normalen, mache diese beziehlich gleich lang mit den aus r' und q' auf $N' y'$ Fig. 86. construirten Normalen, so ergeben sich die Punkte r und q Figur 88. Verbindet man jetzt die Punkte z und s, p und q, 5 und o, q und o durch entsprechende Bogen, so erhält man in der Figur $F G H z s r q o 5$ die verlangten Projectionen des Steins B_2.

Die Figur 89. stellt den oberen Stein C_2 vor, dessen Horizontalprojection die Figur $s' e' f' \lambda' h' i' \beta' o' q' r'$ Figur 86. ist.

Diese Figur zu erhalten, construire man das Rechteck $l' k' \eta' w'$ Fig. 86., welches die grössten Abmessungen der Grundebene des Steins C_2 zu Abmessungen hat; construire sodann ein rechtwinkliges Parallelepipedum, welches dies Rechteck zur Grundebene, zur Höhe aber die Höhe $I'' H''$ der obersten Steinschicht hat.

Dies gebe die Figur $w l k \eta n_2 m_2 h_2$ Fig. 89.

Sodann mache man $l s$ Fig. 89. gleich $l' s'$ Fig. 86.

$s e$ - - - $s' e'$ - -

$m_2 o$ - - - $w' o'$ - -

$m_2 \beta$ - - - $w' \beta'$ - -

$n_2 i$ - - - $\eta' i'$ - -;

fälle aus den Punkten f', λ' und h' Fig. 86. Normalen $f' \delta'$, $\lambda' \varepsilon'$, und $h' \pi'$ auf die Linie $k' \eta'$: so wird der Punkt f' durch die Coordinaten $k' \delta'$ und $\delta' f'$ bestimmt, und der Punkt λ' durch die Coordinaten $k' \varepsilon'$ und $\varepsilon' \lambda'$. Diese Coordinaten trage man nach der Methode der schiefen Projection auf die Linie $k \eta$ Fig. 89., so erhält man die Punkte f und λ. — In eben der Weise werden die Punkte q und r ermittelt. Aus den Punkten e und f ziehe man nun die lothrechten Linien $e h_3$ und $f h_4$, mache beide gleich lang mit $k h_2$, ziehe die geraden Linien $s r$, $r q$, $h_3 h_4$ und $h_4 i$; verbinde ferner die Punkte s und e, q und o, o und i, i und λ durch entsprechende Bogen, so erhält man dadurch die Figur des Steins C_2 in der schiefen Projection gezeichnet.

Sollte zur Bestimmung der Curve λi Fig. 89. noch ein Punkt h gefunden werden, so ziehe man in Fig. 86. die Linie $h' \pi'$ normal auf $k' \eta'$, so wird der Punkt h' durch die Coordinaten $k' \pi'$ und $h' \pi'$ bestimmt. Sodann halbire man die Linien $k h_2$ und ηn_2 Fig. 89., verbinde die Mittelpunkte durch eine gerade Linie, und benutze dieselbe als Abscissenachse, indem man die Coordinaten des Punktes h' an diese Linie nach der Methode der schiefen Projection anträgt. Dadurch erhält man einen Zwischenpunkt h für die Curve λi. In eben der Weise kann man Zwischenpunkte der übrigen Curven finden.

Die Fig. 87. zeigt den oberen Stein A_2, dessen Horizontal projection $a' b' c' \sigma' e' f' \lambda' i'$ Figur 86. ist. Um diesen Stein in der schiefen Projection zu zeichnen, construire man das umhüllende rechtwinklige Parallelepipedum $a a_2 a_3 b_2 d c_2 b_3 d_4$, dessen

Höhe $a a_2$ gleich $H'' I''$ Fig. 86., der Höhe der obersten Steinschicht ist, und dessen Grundebene die Linie $a' d'$ und die aus i' auf $a' d'$ normal construirte Länge zu Abmessungen hat. Sodann mache man:

$d c$	Fig. 87.	gleich $d' c'$	Fig. 86.
$d e$	- - -	$d' e'$	- -
$a_2 b$	- - -	$a' b'$	- -
a . 5	- - -	$a' 5$	- -

ziehe $c \sigma$ und $b \alpha$ Fig. 87. beide parallel zu $a_2 a_3$, mache sie mit $c' \sigma'$ und $b' \alpha'$ Fig. 86. beziehlich gleich lang, bestimme die Punkte f und λ durch ihre Coordinaten, ziehe die geraden Linien $e f$, $f \lambda$ und $\alpha 5$, so wie die Curven σe, $\lambda \alpha$ und $i 5$, so ist $b c \sigma e f \lambda \alpha a 5 i d_2$ die verlangte Figur. In eben der Weise bekommt man die Figur 90, welche den untern Stein D_2, dessen Horizontalprojection die Figur $\omega' \varrho' \mu' \psi'$ Fig. 86. ist, vorstellt.

§. 22.

Die Figur 91. zeigt wieder den Fall, wo die Richtungen zweier Böschungsmauern, welche vermittelst eines schiefliegenden Cylinders gegenseitig verbunden werden, unter einem spitzen Winkel sich schneiden. Die Böschungsseiten liegen hier auf der inneren Seite, wogegen im vorigen Beispiel die Böschungsseiten nach aussen sich befanden. Die Figur $O' a'_3 V' R' u' Q'$ stellt die Horizontalprojection vor; $N'' O'' P'' Q''$ den normalen Querdurchschnitt der einen Mauer, und $R'' S'' V'' W''$ den der zweiten Mauer. Die oberen Stärken $O'' P''$ und $V'' W''$ sind gleich, die unteren Stärken $N'' Q''$ und $R'' S''$ sind dagegen ungleich angenommen worden.

Um hier die Horizontalprojection der schiefen Cylinderfläche anzuordnen, halbire man den Winkel $Q' b' R'$ durch die Linie $b' q'$, so wie den Winkel $P' g' W'$ durch die Linie $g' n'$. Ziehe alsdann die gerade Linie $g' b'$, nehme in der Linie $g' n'$ den Punkt n' beliebig, jedoch dem Zweck entsprechend an, und ziehe $n' q'$ parallel zu $g' b'$: so ist $g' n' q' b'$ ein Parallellogramm, dessen Seite $n' q'$ die Horizontalprojection von der Achse des schiefen Cylinders ist.

Aus dem Punkte n' ziehe man nun die Linien $n' o'$ und $n' t'$ beziehlich normal auf $P' g'$ und $g' W'$, so wie aus dem Punkte

q' die gerade Linie $q'a'$ normal auf $Q'b'$, und $q'u'$ normal auf $b'R'$; beschreibe dann aus q' den Kreisbogen $a'u'$, und aus n' die Kreisbogen $t'o'$ und $p'n'_2$, so wären damit die Horizontalprojectionen der äussersten Kanten des schiefen Cylinders und des damit vereinigten normalen Cylinders festgesetzt. Um nun aber noch die Projectionen der kreisrunden Kanten der zwei mittleren Lagerfugen zu bekommen, verbinde man die Punkte a' und t', so wie die Punkte u' und o' durch gerade Linien; theile sodann die Länge $n'q'$ in 6 gleiche Theile, indem man q' 2 gleich 2, 3, gleich 3, 4, gleich 4, 5, gleich 5, 6, gleich 6 n' macht; beschreibe endlich aus den Punkten 3 und 5 mit der Länge $q'a'$ als Radius die Kreisbogen $r'r'_2$ und $s'r'_3$, so sind diese die Horizontalprojectionen von den Kanten der mittleren horizontalen Lagerfugen. Um nun noch die Projectionen der Stossfugen in dem schiefen Cylinder anzuordnen, beschreibe man aus den Punkten 2, 4 und 6 in der Linie $n'q'$, mit der Länge $q'a'$ als Radius, zwischen den geraden Linien $a't'$ und $u'o'$, Kreisbogen, so stellen diese die Horizontalprojectionen der Mittellinien der runden Steinschicht vor. Es müssen nun die Stossfugen in der Art angeordnet werden, dass sie nicht nur auf der Richtung der runden Mauer, sondern auch auf jenen Mittellinien normal stehen; zu welchem Zweck sie in der Nähe der Böschungsseite in der Art gebrochen werden müssen, dass ihre Richtung normal steht auf jenen Mittellinien.

Für den obern mittlern Stein F geht daher die Richtung der Stossfugen $\alpha'\varkappa'$ und $c'\delta'$ durch den Punkt n', den Mittelpunkt der obern Richtungslinie; die Richtungen $\varkappa'x'$ und $\delta'\lambda'$ gehen aber durch den Punkt 6, den Mittelpunkt des mittlern Kreisbogens dieser Schicht. Die Punkte $\varkappa'$ und δ' werden in der Art angenommen, dass die Längen $\varkappa'y'$ und $\delta'\varphi'$ gegen 8 bis 12 Zoll messen. — Die Stossfuge $l'm'$ steht normal auf dem mittlern Bogen der zweiten Schicht, denn ihre Richtung geht durch den Mittelpunkt 4 dieses Kreisbogens. Die Richtung der Stossfugen der untersten Steinschicht geht durch den Punkt 2, und steht deshalb normal auf dem Kreisbogen, welcher aus diesem Punkte beschrieben worden ist.

§. 23.

Wir kommen zur Darstellung und Bearbeitung der Steine einer schiefen cylindrischen Mauer. In der Fig. 92. haben wir den obern Stein *E*, dessen Horizontalprojection die Fig. $\psi' \varrho' \omega' x' y' z' \alpha'$ Fig. 91. ist, in der schiefen Projection dargestellt; in Figur 93. den obern Stein *F*; in Fig. 94. den obern Stein *H*, dessen Böschungsseite eine Ebene ist; in Figur 95. endlich den Stein *G* der mittlern Steinschicht, dessen Böschungsseite zum Theil ebene, zum Theil aber cylindrische Fläche ist.

Um nun die schiefe cylindrische Fläche an einem dieser Steine richtig zu behauen, muss der Arbeiter die Aufmerksamkeit haben, das Lineal oder das Richtscheit stets nach der Richtung der erzeugenden Linie des Cylinders anzulegen. Um z. B. den Stein *E* Fig. 92. zu behauen, wird zunächst die Schablone des obern Lagers, so wie auch die vom untern Lager nach dem in natürlicher Grösse gezeichneten Musterrisse angefertigt. Sodann wird das einschliessende normale Parallelepipedum dargestellt, welches wir in der Figur durch punktirte Linien angedeutet haben.

Nachdem dies geschehen ist, wird die Schablone des obern Lagers an die bearbeitete Kante ψa_3 angelegt, und deren Umriss auf den Stein getragen. Eben dasselbe geschieht mit der Schablone des untern Lagers. — Sodann wird diejenige cylindrische Fläche am Stein bearbeitet, welche der lothrechten Aussenseite der Mauer zugehört, deren Horizontalprojection der Bogen $p' \alpha'$ Fig. 91 ist; so wie die gebrochene Stossfuge, deren Horizontalprojection die gebrochene Linie $\alpha' z' y' x'$ ist. Nachdem dies geschehen ist, wird der ebene Theil der Böschungsfläche dargestellt, dessen Horizontalprojection die Figur $\varrho' \omega' r' t'$ ist. Diese Ebene wird mit Hülfe der zwei Linien ϱt und ωr bearbeitet, da durch zwei parallele Linien die Ebene vollständig bestimmt ist, welche durch sie geht. Hierdurch gewinnt der Arbeiter die gerade Linie $r t$, welche die Richtung der erzeugenden Linie der schiefen cylindrischen Fläche vorstellt.

Die Bearbeitung jener cylindrischen Fläche bietet keine Schwierigkeiten dar, eben so wenig die Bearbeitung der gebrochenen Stossfuge; denn jene cylindrische Fläche entspricht dem

normalen Cylinder, dessen Richtungslinie $p' \alpha'$ auf dem Stein vorgeschrieben ist, wonach vermittelst des Winkeleisens die Fläche bequem und sicher bearbeitet werden kann.

Die gebrochene Ebene der Stossfuge steht ebenfalls normal auf den Lagern des Steins, ihre Richtung ist durch die Linien $\alpha' z'$ und $z' y'$ auf dem obern und dem untern Lager vorgezeichnet, und es kann daher die gebrochene Stossfuge hiernach leicht bearbeitet werden. Ungleich schwieriger ist aber die Bearbeitung der schiefen cylindrischen Fläche, die nun zuletzt dargestellt wird. Zu dem Ende sucht der Arbeiter den obern vorgezeichneten Kreisbogen $t y$, so wie den untern Kreisbogen $r x$ auszuarbeiten, um das Lineal, während der Bearbeitung der schiefen cylindrischen Fläche, an diese zwei Kreisbogen parallel der Linie $r t$ wiederholt anlegen zu können.

6) Von den kegelförmigen Mauern.

§. 24.

Figur 96 stellt die Projectionen zweier Böschungsmauern vor, deren Dossirungen verschieden, die Höhen der Steinschichten und die oberen Breiten der Mauern aber gleich sind. Die Richtungen beider Mauern schneiden sich unter einem spitzen Winkel, und es sind zum Behuf der Beseitigung der spitzen Kante, die beiden Böschungsseiten vermittelst einer Kegelfläche gegenseitig verbunden worden. Die Projectionen dieser Kegelfläche zu erhalten, construire man wie folgt:

Man halbire die Winkel $A' R' M'$ und $C' k' K'$ durch die geraden Linien $R' k'$ und $k' l'$, nehme in diesen Linien die Punkte k' und l' dem Zweck entsprechend beliebig an, und ziehe die Linie $k' l'$. Sodann verbinde man die Punkte R' und r' durch eine gerade Linie, verlängere diese so weit, bis sie in s' die Verlängerung der Linie $k' l'$ schneidet: so stellt s' die Horizontalprojection der Spitze des Kegels vor, k' die des Mittelpunktes desjenigen Kreisbogens, welcher die untern Kanten der Böschungsmauer verbindet, und l' die des Mittelpunktes vom obern Kreisbogen, durch welchen die oberen Kanten der Böschungsmauer verbunden werden.

Wenn man daher von k' auf die Richtungen $A' R'$ und $R' M'$

der Mauern die Normalen $k' n'$ und $k' \psi'$ fällt, die Punkte n' und ψ' mit s' durch gerade Linien verbindet, die Längen $k' l'$ und $n' m'$ beide in 6 gleiche Theile theilt, aus k' mit $k' n'$ als Radius den Kreisbogen $n' \psi'$ beschreibt, aus dem Punkte 3 mit der Länge $o' 3$ als Radius den Kreisbogen $o' \eta'$, aus 5 mit $\alpha' 5$ den Kreisbogen $\alpha' p'$, und endlich aus l' mit $l' m'$ den Kreisbogen $m' q'$ beschreibt, so stellen diese Kreisbogen die Horizontalprojectionen von den äussersten Kanten der drei kegelartigen Steinschichten vor.

Die Stossfugen werden in dem Princip des vorigen Falles angeordnet. Es werden nämlich die mittleren Kreisbogen der Kegelflächen an den Steinschichten construirt, und die gebrochenen Stossfugen in der Böschungsfläche normal auf diesen Kreisbogen und zugleich auch normal auf der hintern normalen Cylinderfläche der Mauer angeordnet. Für den obern Schlussstein, dessen Horizontalprojection die Figur $y' x' w' v' V' d' c' b' a' z'$ ist, sind $y' v'$ und $z' c'$ die Projectionen von denjenigen Theilen der Stossfugen, welche auf dem mittlern Kreisbogen $a' x'$ normal stehen; wo hingegen die Fugen $v' V'$ und $c' d'$ normal stehen auf dem hintern Bogen $V' d'$, da ihre Richtung durch den Mittelpunkt l' dieses Kreisbogens geht.

§. 25.

Die Figur 97. zeigt denselben Fall, welchen wir in dem Vorangegangenen erklärt haben; mit dem Unterschiede jedoch, dass die Richtung der einen Mauer auf der Richtung der andern normal steht, und die Böschungen auf der innern Seite der Mauern sich befinden. Beide Böschungsseiten werden durch eine Kegelfläche unter einander verbunden, deren Projectionen man findet, wenn man construirt, wie im vorigen Paragraphen gelehrt worden ist. Man findet alsdann den Punkt l' als Mittelpunkt des untern Kreisbogens $n' o'$, m' als Mittelpunkt der zwei obern Kreisbogen, und s' als Projection der Spitze des Kegels.

In Figur 96. nehmen die Radien der Kreisbogen der verschiedenen Schichten von unten nach oben zu ab, und die Spitze des Kegels befindet sich im Raum über der Mauer; in Fig. 97. findet aber der entgegengesetzte Fall Statt, die Spitze des Kegels befindet sich im Raum unterhalb der Mauer, und die Ra-

dien der verschiedenen Kreisbogen nehmen von oben nach unten zu ab.

In sofern die Art und Weise der Darstellung eines Steins der kegelförmigen Mauer, so wie auch die Bearbeitung desselben, ähnlich ist der Darstellung und der Bearbeitung eines Steins von der schiefen cylindrischen Mauer, so haben wir es nicht für nöthig befunden, das Zeichnen und das Bearbeiten der Steine dieser Mauer weiter noch zu erklären.

§. 26.

Nachdem wir in dem Bisherigen die Construction der Mauer aus Schnittsteinen gezeigt haben, wollen wir noch diejenigen statischen Lehren mittheilen, durch welche man in den Stand gesetzt wird, die Abmessungen einer Mauer der Bedingung gemäss zu bestimmen, dass dieselbe der Einwirkung einer Kraft hinreichenden Widerstand leisten könne.

Zunächst folge hier die Theorie der Futtermauern. — Es wird nämlich die gerade Mauer häufig als Futtermauer angeordnet, wobei die eine Seite derselben ganz frei steht, während die andere mit Erde hinterfüllt ist. Hierdurch geht ein Schub hervor, dessen Bestreben dahin gerichtet ist, die Mauer entweder fortzuschieben, oder umzukanten.

§. 27.

Aufgabe. Es sei Fig. 98. Tafel VI. $ac = h$ die Höhe einer Futtermauer, α der Ruhewinkel der Erde, womit die Mauer hinterfüllt ist, und m sei das Gewicht der Kubikeinheit dieser Erdart; man soll den Horizontaldruck S der Erde gegen die Futtermauer berechnen.

Auflösung. Vorausgesetzt, dass ausser dem Druck der Erde keine fremde Kraft innerhalb derjenigen Grenze, in welcher die Erde noch auf die Futtermauer wirkt, vorhanden sei, und dass die Erde mit der Futtermauer einerlei Höhe habe.

Dies zum Grunde gelegt, sei der Winkel $dab = \alpha$, und abc der normale Querschnitt desjenigen Erdkörpers, dessen Bestreben, nach der Richtung ba abzugleiten, so eben im Gleichgewicht mit der Reibung ist, welche hier sich bildet. Bezeichnet

W das Gewicht dieses Erdkörpers, so ist das abgleitende Bestreben desselben nach der Richtung $b\,a$

$$= W \operatorname{Sin} \alpha,$$

und die Reibung auf der schiefen Ebene $b\,a$, wenn μ den Reibungscoefficient bezeichnet,

$$= \mu\, W \operatorname{Cos} \alpha.$$

Es ist sonach $W \operatorname{Sin} \alpha = \mu\, W \operatorname{Cos} \alpha$

$$\text{oder } \mu = \operatorname{Tang} \alpha.$$

Dieser Werth des Reibungscoefficienten bleibt stets derselbe, wenn gleich die Bewegung der Erde hinter der Mauer nicht in der Linie $b\,a$, sondern in irgend einer andern Richtung Statt findet. So lange die Erde hinter der Mauer eine compacte, in sich fest zusammenhängende Masse bildet, kann sie keinen Schub erzeugen. Nur dann erst, wenn die Erde zunächst hinter der Mauer von der festliegenden Erdmasse sich ablöst, wird der Erddruck gegen die Mauer zu wirken beginnen. Es bildet sich alsdann eine festliegende schiefe Ebene, auf welcher die abgelöste Erdmasse hinabzugleiten das Bestreben hat. Die Reibung, welche auf dieser schiefen Ebene entsteht, hebt zwar das abgleitende Bestreben der Massen zum Theil auf; sie hebt dies Bestreben sogar gänzlich auf, wenn die Trennung in der Linie $b\,a$ unter dem Ruhewinkel α erfolgte. In jeder andern Trennungslinie zwischen $a\,b$ und $a\,c$ wird aber die Reibung geringer sein, als das abgleitende Bestreben; und es wird daher der Unterschied P beider Thätigkeiten die Intensität der Kraft ausdrücken, mit welcher die Erde hinabgleiten kann.

Bei der Bestimmung des Erddrucks gegen die Futtermauer ist es aber nothwendig, denjenigen Fall anzunehmen, bei welchem der Druck gegen die Mauer ein Maximum wird; weil man alsdann sicher ist, dass kein Druck gegen die Mauer entsteht, durch welchen dieselbe überwältigt werden kann, wenn man die Abmessungen der Mauer, dem grössten Druck entsprechend, angeordnet hat. Je nachdem aber die Trennungslinie der Erdmassen eine andere Richtung hat, wird auch der Schub S gegen die Mauer einen andern Werth annehmen; weshalb es von Wichtigkeit ist, diejenige Trennungslinie $e\,a$ zu erforschen, für welche der Schub S sein Maximum wird.

Zu dem Ende sei der Winkel $cae = x$, der Winkel $cab = 90 - \alpha = \beta$, und das Gewicht des dreiseitigen Prisma, dessen Querschnitt das Dreieck ace vorstellt, sei $= Q$. Die Länge l dieses Körpers kann der Kürze wegen gleich Eins gesetzt werden. Das Gewicht Q kann in dem Schwerpunkte s des Dreiecks ace vereinigt gedacht werden, und muss dann hier in die zwei Componenten y und z zerlegt werden, von welchen die Componente y parallel der Linie ea wirkt, z aber normal darauf.

Die Componente y hat das Bestreben, den Erdkörper zum Dreieck ace, längs der Linie ea fortzubewegen, während der Normaldruck z auf dieser schiefen Ebene eine Reibung erzeugt, die dem Bestreben von y entgegen wirkt. Diese Reibung ist $= \mu z$, und es kann sonach die Erde nur noch mit der Kraft

$$P = y - \mu z$$

nach der Richtung ea hinabgleiten.

Es ist aber $Q = \frac{h^2 m}{2}$ Tang x,

$$y = Q \text{ Cos } x,$$

$$z = Q \text{ Sin } x,$$

daher $P = Q$ (Cos x $- \mu$ Sin x)

$$= \frac{h^2 m}{2} \text{ Tang x (Cos x} - \mu \text{ Sin x)}$$

Aus dieser Kraft P entspringt nun der Horizontalschub S gegen die Mauer. Zugleich geht aber hier noch eine Reibung hervor, welche nicht übersehen werden darf. Wenn nämlich der Erdkörper zu ace mit der Gewalt P auf der schiefen Ebene hinabgleitet, so muss an der hintern Wandfläche der Mauer eine Bewegung Statt finden, da sonst ein Senken des ganzen Erdkörpers vom Gewicht Q nicht möglich wäre. Wenn nun die hintere Wandfläche der Mauer eine lothrechte Richtung hat, so wird der aus P hervorgehende Horizontalschub S auf derselben eine Reibung $\mu' S$ erzeugen, welche im Punkte s vereinigt, in lothrechter Richtung nach oben wirkend gedacht werden kann.

Zur Bestimmung von S bedienen wir uns des Satzes der virtuellen Geschwindigkeit. Wir denken nämlich durch den Schwerpunkt s die Gegenkraft S nach horizontaler Richtung an-

gebracht, und haben dann drei Kräfte P, S und $\mu' S$ Fig. 99, welche unter einander im vollkommenen Gleichgewicht sein müssen. Nehmen wir nun an, dass das Gleichgewicht zwischen diesen drei Kräften einen Augenblick aufgehoben worden wäre, und dass der Punkt s während dieser Zeit in der zu $e\,a$ parallelen Richtung den Weg $s\,n = v$ durchlaufen hätte, so wäre v der gleichzeitige Weg von P, $n\,m$ der von $\mu' S$, und $m\,s$ der von S, wenn die Linie $n\,m$ normal auf der Richtung der Kraft S gedacht wird.

Es ist aber $n\,m = v \operatorname{Cos} x$ und

$$m\,s = v \operatorname{Sin} x,$$

daher $$P\,v = S \,.\, v \operatorname{Sin} x + \mu' S \,.\, v \operatorname{Cos} x$$

oder $$P = S \,.\, (\operatorname{Sin} x + \mu' \operatorname{Cos} x)$$

und $$S = \frac{P}{\operatorname{Sin} x + \mu' \operatorname{Cos} x}$$

Es war aber $P = \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \,(\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x)$, daher

$$\text{I.} \quad S = \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \, \frac{\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x + \mu' \operatorname{Cos} x}$$

Der Reibungscoefficient μ ist bekannt, weil $\mu = \operatorname{Tang} \alpha$ ist; aber der Werth von μ' ist unbekannt. Da aber die Mauer an der Seite, welche gegen die Erde gerichtet, meist sehr uneben ist, und die Vertiefungen doch mit Erde ausgefüllt sind, so kann man das Abrutschen der Erde von der Mauer so annehmen, als wenn Erde auf Erde sich reibe, und es ist dann $\mu' = \mu$.

Zur Bestimmung des Horizontalschubs S hat man dann die Gleichung

$$S = \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \, \frac{\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x + \mu \operatorname{Cos} x}$$

$$= \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \,.\, \frac{\operatorname{Cos} x - \operatorname{Tang} \alpha \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x + \operatorname{Tang} \alpha \operatorname{Cos} x}$$

Es war aber $90 - \alpha = \beta$, daher $\operatorname{Tang} \alpha = \operatorname{Cotg} \beta$, und deshalb

$$S = \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \, \frac{\operatorname{Cos} x - \operatorname{Cotg} \beta \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x + \operatorname{Cotg} \beta \operatorname{Cos} x}$$

$$= \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \,.\, \frac{\operatorname{Cos} x \operatorname{Sin} \beta - \operatorname{Cos} \beta \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x \operatorname{Sin} \beta + \operatorname{Cos} \beta \operatorname{Cos} x}$$

$$\text{oder II.} \quad S = \frac{h^2 m}{2} \operatorname{Tang} x \,.\, \operatorname{Tang} (\beta - x)$$

Es sollte aber der Winkel x der Bedingung gemäss ermittelt werden, dass der Horizontalschub S ein Maximum würde; es muss deshalb vom Ausdruck $\frac{h^2 m}{2}$ Tang x Tang $(\beta - x)$ die erste Ableitung genommen, und dieselbe $= o$ gesetzt werden.

Man erhält alsdann

$$\frac{dS}{dx} = \frac{h^2 m}{2} [\text{Tang}\,(\beta - x)\,\text{Sec}\,x^2 - \text{Tang}\,x\,\text{Sec}\,(\beta - x)^2] = o,$$

oder $\quad \text{Sin}\,(\beta - x)\,\text{Cos}\,(\beta - x) = \text{Sin}\,x\,\text{Cos}\,x;$

daher $\text{Sin}\,2(\beta - x) = \text{Sin}\,2x$

Zufolge dieser Gleichung muss entweder $2(\beta - x) = 2x$, oder $2(\beta - x) = 180 - 2x$ sein. Dies letztere ist aber nicht möglich, und es ist daher $\beta - x = x$, oder

$$x = \frac{\beta}{2} = 45 - \frac{\alpha'}{2}.$$

Nimmt man noch die zweite Ableitung von S, so ergiebt sich

$$\frac{d^2 S}{(dx)^2} = [2\,\text{Tang}\,(\beta - x)\,\text{Sec}\,x^2\,\text{Tang}\,x - \text{Sec}\,x^2\,\text{Sec}\,(\beta - x)^2$$
$$+ 2\,\text{Tang}\,x\,\text{Sec}\,(\beta - x)^2\,\text{Tang}\,(\beta - x)$$
$$- \text{Sec}\,(\beta - x)^2\,\text{Sec}\,x^2] \cdot \frac{h^2 m}{2},$$

oder, $\frac{\beta}{2}$ statt x gesetzt,

$$\frac{d^2 S}{(dx)^2} = \left(4\,\text{Tang}\,\frac{\beta^2}{2} \cdot \text{Sec}\,\frac{\beta^2}{2} - 2\,\text{Sec}\,\frac{\beta^4}{2}\right) \cdot \frac{h^2 m}{2}$$
$$= -2\left(1 - \text{Tang}\,\frac{\beta^4}{2}\right) \cdot \frac{h^2 m}{2}$$

Es ist aber $\frac{\beta}{2} < 45^0$, und Tang $45^0 = 1$, mithin Tang $\frac{\beta}{2} < 1$.

Die zweite Ableitung von S nimmt sonach für $x = \frac{\beta}{2}$ einen negativen Werth an, und es wird daher der Horizontalschub S ein Maximum, wenn $x = \frac{\beta}{2}$ ist. Substituirt man nun $\frac{\beta}{2}$ für x in die Formel II, so erhält man

$$\text{III.} \quad S = \frac{h^2 m}{2}\left(\text{Tang}\,\frac{\beta}{2}\right)^2$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass unter gleichen Umständen

der Horizontalschub gegen die Mauer sich verhält, wie die Quadrate der zugehörigen Höhen.

§. 28.

Wird angenommen, dass hinter der Futtermauer angefeuchteter Sand als Füllerde sich befände, so wäre der Ruhewinkel $\alpha = 24^0$, $\frac{\beta}{2} = \frac{90 - \alpha}{2} = \frac{90 - 24}{2} = 33^0$, und das Gewicht m eines Kubikfusses Füllmaterial $= 128\frac{1}{4}$ Pfund; daher

$$S = \frac{h^2}{2} . 128\tfrac{1}{4} . (\text{Tang } 33)^2$$
$$= 27{,}04345 . h^2 \text{ in Pfunden.}$$

Für angefeuchtete Gartenerde als Füllmaterial wäre $\alpha = 27^0$, daher $\frac{\beta}{2} = \frac{90 - 27}{2} = 31^0\,30'$, und $m = 135$ Pfund; mithin

$$S = \frac{h^2}{2} . 135 . (\text{Tang } 31^0\,30')^2$$
$$= 25{,}34792\ h^2 . \text{ Pfund.}$$

Trocknen Sand als Füllerde gedacht, wäre $\alpha = 32^0$, $\frac{\beta}{2} = \frac{58^0}{2} = 29^0$, und $m = 108$ Pfund; daher

$$S = \frac{h^2}{2} . 108 (\text{Tang } 29^0)^2$$
$$= 54 . 0{,}554309^2\ h^2$$
$$= 16{,}59196 . h^2 \text{ Pfund.}$$

Für trockne pulverisirte Gartenerde als Füllmaterial, ist der Ruhewinkel $\alpha = 37^0$, $\frac{\beta}{2} = \frac{90 - 37}{2} = 26^0\,30'$, und $m = 107\frac{1}{2}$ Pfund, daher

$$S = \frac{h^2}{2} . 107{,}5 . (\text{Tang } 26^0\,30')^2$$
$$= 13{,}3613 . h^2 \text{ Pfund.}$$

Trocknen pulverisirten Lehm als Füllmaterial gedacht, wäre $\alpha = 40^0$, $\frac{\beta}{2} = 25^0$ und $m = 100$ Pfund; daher

$$S = \frac{h^2}{2} . 100 . (\text{Tang } 25^0)^2$$
$$= 10{,}87214\ h^2 \text{ Pfund.}$$

Für trocknen pulverisirten Thon wäre $\alpha = 45°$, $\frac{\beta}{2} = 22\frac{1}{2}°$ und m $= 118$ Pfund; daher

$$S = \frac{h^2}{2} . 118 . (\text{Tang } 22° 30')^2$$
$$= 10{,}1228\, h^2$$

Wenn aber anstatt der Erde Wasser hinter der Futtermauer sich befände, so wäre der hydrostatische Druck auf die Mauer zur Länge Eins $= h . 1 . \frac{h}{2} \gamma$, wenn γ das Gewicht eines Kubikfusses Wasser, also $65\frac{15}{16}$ Pfund, bezeichnet. In der Folge soll von uns jedoch $\gamma = 66$ Pfund angenommen werden, und es wäre alsdann der Horizontalschub S gegen die Mauer

$$= \frac{h^2}{2} 66 \text{ Pfund}$$
$$= 33 . h^2 \text{ Pfund.}$$

Befände sich schwimmender Morast hinter der Futtermauer als Füllmaterial, und wäre das specifische Gewicht desselben $= \delta$, so würde der Horizontalschub

$$S = 33 . \delta h^2 \text{ sein.}$$

Stellen wir die erhaltenen Resultate zusammen, so entsteht

Tabelle I.

Füllmaterial hinter der Futtermauer.	α Ruhewinkel. Grad.	$\frac{\beta}{2}$ Grad.	m Gewicht eines Kubikfusses. Pfunde.	Horizontalschub $S = \frac{m h^2}{2} (\text{Tng} \frac{\beta}{2})^2$ Pfunde.
1. Angefeuchteter Sand	24.	33.	$128\frac{1}{4}$.	27,04345 . h^2.
2. Angefeuchtete Gartenerde	27.	$31\frac{1}{2}$	135 .	25,34792 . h^2
3. Trockner Sand	32	29	108 .	16,59196 . h^2
4. Trockne pulverisirte Gartenerde	37.	$26\frac{1}{2}$	$107\frac{1}{2}$	13,3613 . h^2
5. Trockner pulverisirter Lehm . .	40	25	100 .	10,87214 h^2
6. Trockner pulverisirter Thon . .	45	$22\frac{1}{2}$	118 .	10,1228 h^2
7. Wasser hinter der Futtermauer	0	45	66 .	33 . h^2
8. Schwimmender Morast, dessen specifisches Gewicht $= \delta$ ist.	0	45	66 . δ	33 . δ . h^2

§. 29.

Wird die Reibung, welche durch das Abgleiten der Erde an der Mauer gebildet wird, ausser Rechnung gelassen, so erhält man nach Formel I. §. 27. den Horizontalschub

$$S = \frac{h^2 m}{2} \text{Tang} x \frac{\text{Cos} x - \mu \text{Sin} x}{\text{Sin} x}$$

$$= \frac{h^2 m}{2} (1 - \mu \text{Tang} x)$$

Der Ausdruck $\frac{h^2 m}{2} (1 - \mu \text{Tang} x)$ wird aber ein Maximum für $x = o$, und es ist daher für diesen Fall der grösste Horizontalschub gegen die Mauer, oder

$$S = \frac{h^2 m}{2}.$$

Hiernach hat man

Tabelle II.

Füllmaterial hinter der Futtermauer.	m Gewicht eines Kubikfusses in Pfunden.	$S = \frac{mh^2}{2}$ Horizontalschub gegen die Mauer. Pfunde.
1. Angefeuchteter Sand	$128\frac{1}{4}$.	$64{,}125 . h^2$
2. Angefeuchtete Gartenerde	135.	$67{,}5 . h^2$
3. Trockner Sand	108	$54 . h^2$
4. Trockne pulverisirte Gartenerde . . .	$107\frac{1}{2}$	$53{,}75 h^2$
5. Trockner pulverisirter Lehm	100	$50 . h^2$
6. Trockner pulverisirter Thon	118.	$59 . h^2$.
7. Wasser	66.	$33 . h^2$
8. Schwimmender Morast	$\delta . 66$.	$33 . \delta . h^2$.

§. 30.

Der Fall, welcher in §. 29. angenommen worden ist, führt auf eine Trennungslinie, welche bei Erde nicht füglich Statt finden kann. Wir sind deshalb der Meinung, dass der grösste Erddruck gegen die Mauer, nach einem andern Princip, als dem in §. 27. befolgten, berechnet werden muss, wenn die Reibung μS, welche das Abgleiten der Erde an der Mauer erzeugt, ausser Rechnung gelassen werden soll.

Jedenfalls giebt es einen Neigungswinkel, für welchen das abgleitende Bestreben der abrutschenden Erdmasse ein Maximum wird. Es entsteht sonach die Frage, unter welchem Winkel $c\,a\,e = x$ Figur 98. die Trennungslinie angenommen werden müsse, damit das abgleitende Bestreben der Erdmasse ein Maximum werde.

Die Beantwortung dieser Frage führt auf eine unreine kubische Gleichung, welche in folgender Weise ermittelt wird:

Bezeichnet Q das Gewicht der Erde, welche in der Richtung $a\,e$ von der festen Masse sich getrennt hat, und ist m das Gewicht der Kubikeinheit derselben, so drückt Q Cos x die Gewalt aus, mit welcher die lose Erdmasse auf der schiefen Ebene $e\,a$ hinabzugleiten strebt. Es entsteht aber auf der schiefen Ebene $e\,a$ eine Reibung $= \mu$ Q Sin x, welche jenes Abgleiten zum Theil verhindert, und es ist deshalb das Bestreben, womit die Erde nur abgleiten kann

$$P = Q\ \mathrm{Cos}\,x - \mu\,Q\ \mathrm{Sin}\,x.$$

Es ist aber $Q = \frac{h^2}{2}\ \mathrm{Tang}\ x\,.\,l\,m$, wenn l die Länge des prismatischen Körpers bezeichnet, wovon das Dreieck $e\,a\,c$ den normalen Querschnitt vorstellt. Diese Länge l der Kürze wegen gleich Eins gesetzt, giebt

$$Q = \frac{h^2 m}{2}\ \mathrm{Tang}\,x;\ \text{daher}$$

$$\text{I.}\quad P = \frac{h^2 m}{2}\ \mathrm{Tang}\,x\ (\mathrm{Cosin}\,x - \mu\,\mathrm{Sin}\,x) = \mathrm{Maxim:}$$

Nun ist aber $\frac{dP}{dx} = \frac{h^2 m}{2}[\mathrm{Cos}\,x - \mu(\mathrm{Tang}\,x\,\mathrm{Cos}\,x + \mathrm{Sin}\,x\,\mathrm{Sec}\,x^2)]$;

daher $\frac{h^2 m}{2}\ [\mathrm{Cos}\,x - \mu\ (\mathrm{Tang}\,x\ \mathrm{Cos}\,x + \mathrm{Sin}\,x\,\mathrm{Sec}\,x^2)] = 0,$

oder, $1 - \mu\ (\mathrm{Tang}\,x + \mathrm{Tang}\,x\,\mathrm{Sec}\,x^2) = 0,$

und hieraus $\mathrm{Tang}\,x^3 + 2\,\mathrm{Tang}\,x - \frac{1}{\mu} = 0.$

Aber $\frac{1}{\mu} = \mathrm{Cotg}\ \alpha,$

daher $\mathrm{Tang}\,x^3 + 2\ \mathrm{Tang}\ x - \mathrm{Cotg}\ \alpha = 0,$ und hieraus

II. $\text{Tang } x = \sqrt[3]{\frac{1}{2}\text{Cotg}\alpha + \sqrt{\frac{1}{4}\text{Cotg}\,\alpha^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^3}}$

$$- \sqrt[3]{-\frac{1}{2}\text{Cotg}\,\alpha + \sqrt{\frac{1}{4}\text{Cotg}\,\alpha^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^3}}$$

Es ist ferner

$$\frac{d^2P}{(dx)^2} = -\left[\text{Sin}\,x + \mu(\text{Cos}\,x + \text{Cos}\,x\,\text{Sec}\,x^2 + 2\,\text{Sin}\,x\,\text{Sec}\,x^2\,\text{Tang}\,x)\right]$$

$$= -\left[\frac{\mu + \text{Tang}\,x}{\sqrt{1+\text{Tang}\,x^2}} + (1 + 2\,\text{Tang}\,x^2)\,\mu\sqrt{1+\text{Tang}\,x^2}\right];$$

woraus hervorgeht, dass wenn für Tang x der Werth aus der Gleichung II. substituirt wird, alsdann die zweite Ableitung von P einen negativen Werth annimmt. Es wird sonach die Kraft

$$P = \frac{h^2 m}{2}\,\text{Tang}\,x\,(\text{Cos}\,x - \mu\,\text{Sin}\,x)$$

$$= \frac{h^2 m}{2} \cdot \frac{\text{Tang}\,x - \mu\,\text{Tang}\,x^2}{\sqrt{1+\text{Tang}\,x^2}}$$

für denjenigen Werth von x ein Maximum, welcher der Gleichung II. entspricht.

Für $\alpha = 24^0$ ist

$$\text{Tang}\,x = \sqrt[3]{\frac{1}{2}\text{Cotg}\,24 + \sqrt{\frac{1}{4}(\text{Cotg}\,24)^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^3}}$$

$$- \sqrt[3]{-\frac{1}{2}\text{Cotg}\,24 + \sqrt{\frac{1}{4}(\text{Cotg}\,24)^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^3}}$$

$$= \sqrt[3]{1{,}1230184 + \sqrt{1{,}1230184^2 + 0{,}296296}}.$$

$$- \sqrt[3]{-1{,}1230184 + \sqrt{1{,}1230184^2 + 0{,}296296}}.$$

$$= \sqrt[3]{1{,}1230184 + 1{,}247985} - \sqrt[3]{-1{,}1230184 + 1{,}247985}$$

$$= 1{,}333452 - 0{,}499956$$

$$= 0{,}833496$$

und $x = 39^0 48' 39''$.

Substituirt man diesen Werth in die Gleichung

$$P = \frac{h^2 m}{2} \cdot \frac{\text{Tang}\,x - \mu\,\text{Tang}\,x^2}{\sqrt{1+\text{Tang}\,x^2}}$$

so erhält man $P = \frac{h^2 m}{2} \cdot \frac{0{,}833496 - \text{Tang } 24^0 . 0{,}833496^2}{\sqrt{1 + 0{,}833496^2}}$

$= \frac{h^2 m}{2} . 0{,}402659.$

Berechnen wir dahingegen die Kraft P für irgend einen andern Winkel, als die Formel II. angiebt, etwa für $x = 41^0$, so wird

$$P = \frac{mh^2}{2}(0{,}656059 - 0{,}4452287 . 0{,}656059 . 0{,}8692868)$$

$$= \frac{mh^2}{2} . 0{,}4021436;$$

und für $x = 38^0$ wird

$$P = \frac{mh^2}{2} (0{,}6156615 - 0{,}4452287 . 0{,}6156615 . 0{,}7812849)$$

$$= \frac{mh^2}{2} . 0{,}4015032.$$

Beide Werthe von P sind aber kleiner, als jener für $x = 39^0$ 48′ 39″. Wenn daher der Ruhewinkel einer Erdart $= 24^0$ ist, und erfolgte eine Trennung der Erde unter dem Winkel $x = 39^0$ 48′ 39″, so würde die Intensität der Kraft, mit welcher die über der Trennungsfuge befindliche Erdmasse hinabzugleiten strebte, grösser sein, als wenn die Trennungsfuge unter irgend einem andern Winkel sich bildete, d. h. es wird P ein Maximum, wenn $x = 39^0$ 48′ 39″ ist.

Aus der Kraft P geht nun ein Horizontalschub S gegen die Mauer hervor, dessen Grösse wir hier eben so ermitteln, wie dies früher im §. 27. geschah. Durch den Schwerpunkt s des Dreiecks $a\,e\,c$ wird nämlich eine horizontal wirkende Gegenkraft S gedacht, welche im Stande sei, der Kraft P das Gleichgewicht zu halten. Gesetzt nun, es durchliefe dies System von Kräften in irgend einer Zeit einen gewissen Weg, indem das Gleichgewicht während dieser Zeit aufgehoben worden wäre, so würden die Kräfte P und S umgekehrt sich verhalten, wie die gleichzeitig durchlaufenen Wege. Wenn daher der Angriffspunkt s in der zu $e\,a$ parallelen Richtung den Weg $s\,n = v$ Fig. 99 durchlaufen hätte, so wäre der gleichzeitig durchlaufene Weg von $P = v$, und der von $S = v \sin x$; daher

$$P : S = v \operatorname{Sin} x : v$$

oder $$S = \frac{P}{\operatorname{Sin} x}$$

$$= \frac{h^2 m}{2} \cdot \frac{\operatorname{Tang} x (\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x)}{\operatorname{Sin} x}$$

oder III. $$S = \frac{h^2 m}{2} (1 - \operatorname{Tang} \alpha \,.\, \operatorname{Tang} x)$$

Folgerecht den statischen Principien muss aber der Horizontalschub gegen die Mauer mit der gedachten horizontalen Gegenkraft S von gleicher Grösse sein, und es drückt sonach die Formel III. den Horizontalschub S gegen die Futtermauer aus.

Wenn man nun in Formel III. für Tang x den Werth aus II. substituirt, so bekommt man

IV. $$S = \frac{h^2 m}{2} \left[1 - \operatorname{Tang} \alpha \left(\sqrt[3]{\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} \alpha + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} \alpha)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}} - \sqrt[3]{-\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} \alpha + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} \alpha)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}} \right) \right.$$

§. 31.

Wenn angefeuchteter Sand hinter der Futtermauer sich befände, so wäre $\alpha = 24^0$, und $m = 128\frac{1}{4}$ Pfund; nach III. §. 30. wäre daher der Horizontalschub S gegen die Futtermauer

$$= \frac{h^2}{2} 128\tfrac{1}{4} (1 - \operatorname{Tang} 24^0 \,.\, \operatorname{Tang} x)$$

und $$\operatorname{Tang} x = \sqrt[3]{\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} 24^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} 24^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}} - \sqrt[3]{-\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} 24^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} 24^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}}$$

$$= 0{,}833496;$$

daher $$S = 128\tfrac{1}{4} \cdot \frac{h^2}{2} (1 - 0{,}4452287 \,.\, 0{,}833496)$$

$$= 40{,}3284561 \,.\, h^2 \text{ Pfunde}$$

Befände sich angefeuchtete Gartenerde hinter der Mauer, so wäre $\alpha = 27^0$, und $m = 135$ Pfunde, daher

$$\operatorname{Tang} x = \sqrt[3]{\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} 27^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} 27^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}} - \sqrt[3]{-\tfrac{1}{2} \operatorname{Cotg} 27^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4} (\operatorname{Cotg} 27^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}}$$

$$= \sqrt[3]{1{,}4029489} - \sqrt[3]{0{,}2111953}$$
$$= 1{,}119474 - 0{,}595517$$
$$= 0{,}523957,$$

und x $= 27^0\ 39'\ 9''$.

Ferner wäre $S = \frac{100 h^2}{2} (1 - \text{Tang } 40 . \text{Tang } x)$
$= 50 h^2 (1 - 0{,}439652)$
$= 50 h^2 . 0{,}560348$
$= 28{,}0174 . h^2$ Pfund.

Für trocknen pulverisirten Thon wäre $\alpha = 45^0$, und $m = 118$ Pfund, daher

$$\text{Tang } x = \sqrt[3]{\tfrac{1}{2}\text{Cotg } 45^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4}(\text{Cotg } 45^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}} - \sqrt[3]{-\tfrac{1}{2}\text{Cotg } 45^0 + \sqrt{\tfrac{1}{4}(\text{Cotg } 45^0)^2 + (\tfrac{2}{3})^3}}$$
$$= \sqrt[3]{0{,}5 + 0{,}739118} - \sqrt[3]{-0{,}5 + 0{,}739118}$$
$$= \sqrt[3]{1{,}239118} - \sqrt[3]{0{,}239118}$$
$$= 1{,}074082 - 0{,}620684$$
$$= 0{,}453398,$$

der Winkel x daher $= 24^0\ 23'\ 22''$.

Der Horizontalschub S gegen die Mauer wäre hier
$= \frac{118 h^2}{2} (1 - \text{Tang } 45^0 . \text{Tang } x)$
$= 59 . h^2 (1 - 0{,}453398)$
$= 32{,}249518\, h^2$.

Stellen wir die erhaltenen Resultate zusammen, so entsteht

Tabelle III.

Füllmaterial hinter der Futtermauer.	α Ruhewinkel.	x Winkel der nachtheiligsten Trennungslinie.	Werth von Tang x.	m Gewicht eines Kubikfusses. Pfunde.	$S=\frac{mh^3}{2}(1-\mathrm{Tg}\alpha\,\mathrm{Tg}x)$ Horizontalschub gegen die Mauer. Pfunde.
1. Angefeuchtet. Sand	24° .	39°48′39″	0,833496.	128½ .	40,3284561 . h^3
2. Angef. Gartenerde	27° .	37°16′18″	0,761019.	135 .	41,32630125 . h^3
3. Trockner Sand .	32°	33°20′19″	0,657831.	108 .	31,8028464 . h^3
4. Trockne pulverisirte Gartenerde	37° .	29°42′36″	0,570623.	107½	30,6377687 . h^3
5. Trockn. pulv. Lehm	40°	27°39′9″	0,523957.	100 .	28,0174 . h^3 .
6. Trockn. pulv. Thon	45°	24°23′22″	0,453398.	118 .	32,249518 . h^3 .
7. Wasser	0	—	—	66 .	33 . h^3
8. Schwimmender Morast vom spec. Gewicht δ	0	—	—	66 . δ	33 . δ . h^3

§. 32.

Nachdem wir in §. 27. die Kraft $P=\frac{h^2m}{2}\,\mathrm{Tang}\,x\,(\mathrm{Cos}\,x-\mu\,\mathrm{Sin}\,x)$ ermittelt hatten, durch welche die Intensität der Kraft ausgedrückt wird, mit welcher die Erdmasse auf der schiefen Ebene *a e* abzugleiten das Bestreben hat: bestimmten wir den hieraus hervorgehenden Schub S gegen die Mauer nicht vermittelst des Parallelogramms der Kräfte, sondern mit dem Satze von der virtuellen Geschwindigkeit. Dies schien uns nothwendig zu sein; denn die Anwendung des Princips von der virtuellen Geschwindigkeit ist sicherer, und liefert genauere Resultate, als die Anwendung des Parallelogramms der Kräfte. Dies letztere Gesetz ist zwar an und für sich richtig; dass aber dessen ungeachtet dasselbe häufig fehlerhafte Resultate liefert, ist eine Sache, welche allgemein bekannt ist. Weniger bekannt möchte indess der Grund dieser auffallenden Erscheinung sein, weil sonst die Theorie der Futtermauer nicht so verschieden sein würde. Ein Gesetz, welches richtig ist, muss auch richtige Resultate liefern; und wenn dies nicht der Fall ist, so muss der Grund in einer fehlerhaften Anwendung des Gesetzes gesucht werden. Die Resultate, welche hervorgehen, wenn man nach der Theorie des Parallelogramms der Kräfte eine Kraft P in Componenten zerlegt, aus welchen Kräfte nach Richtungen hervorgehen, in welchen das System keine Bewegung zulässt, sind zwar absolut be-

trachtet richtig; sie führen aber den Rechner in Bezug auf das Resultat, welches er sucht, auf fehlerhafte Schlüsse.

Denn zerlegt man nach Fig. 100. das Gewicht Q des Erdkörpers zu ace in die Componenten y und z, indem man das Parallelogramm der Kräfte, oder vielmehr das Rechteck $vrsw$ bildet: so führt dies unbedingt zu richtigen Resultaten, indem die hieraus hervorgehenden Kräfte y und μz nach der Richtung ea wirken, in welcher das System sich bewegen kann. Wenn man dahingegen die Länge $ro = \mu z$ macht, und dann die Kraft $os = Q \operatorname{Cos} x - \mu Q \operatorname{Sin} x$ in die Componenten st und su nach horizontaler und lothrechter Richtung zerlegt, so wirkt die Kraft su nach einer Richtung, in welcher keine Bewegung Statt finden kann. Das Gewicht Q des Erdkörpers ace kann wohl in der mit ae parallelen Richtung sr sich bewegen, aber nicht in der lothrechten Linie sv. Daher sind die Componenten st und su zwar an und für sich richtig bestimmt worden; man würde aber einen fehlerhaften Schluss machen, wenn man die Componente st als diejenige Kraft ansähe, welche den Horizontalschub der Erde gegen die Mauer repräsentire. Denn es ist

$$\begin{aligned} st &= os \operatorname{Sin} x \\ &= Q\ (\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x)\ .\ \operatorname{Sin} x \\ &= \frac{h'm}{2} \operatorname{Tang} x\ (\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x) \operatorname{Sin} x; \end{aligned}$$

nach Formel I. §. 27., die Reibung an der Mauer ausser Rechnung gelassen, ist aber der Horizontalschub der Erde gegen die Mauer

$$S = \frac{h'm}{2} \operatorname{Tang} x \frac{\operatorname{Cos} - \mu \operatorname{Sin} x}{\operatorname{Sin} x},$$

woraus hervorgeht, dass die Formel

$$st = \frac{h'm}{2} \operatorname{Tang} x\ (\operatorname{Cos} x - \mu \operatorname{Sin} x) \operatorname{Sin} x$$

den Horizontalschub der Erde viel zu gering angiebt. Dies liegt auch in der Natur der Sache. Die Componente su kann nicht als verlorene Kraft angesehen werden, deren Thätigkeit durch eine gleich grosse entgegengesetzte Kraft aufgehoben würde; eine solche Gegenkraft ist nicht vorhanden, und deshalb wird auch aus der Kraft su noch ein Horizontaldruck gegen die

Mauer hervorgehen müssen, um welchen man fehlt, wenn die Componente st so angesehen wird, als repräsentire sie allein den Horizontalschub S der Erde.

§. 33.

Ist die Erde hinter der Futtermauer höher als die Mauer, so denke man durch die obere Grundebene der Mauer eine horizontale Ebene E, berechne das Gewicht Q der abgleitenden Erde, welche unterhalb der Ebene E sich befindet, so wie auch das Gewicht Q′ der auf der erweitert gedachten Trennungslinie ae Fig. 98. oberhalb der Ebene E abgleitenden Erdemasse, und setze dann Q + Q′ anstatt Q in die §. 27. geführte Berechnung des Horizontalschubs S der Erde.

Befindet sich innerhalb derjenigen Grenze, in welcher die Erde noch auf die Mauer einwirken kann, irgend ein schwerer Gegenstand, durch dessen Gewicht der Erddruck vermehrt wird, so ermittele man das Gewicht Q″ dieses Gegenstandes, und nehme dasselbe in der Rechnung mit auf, indem man das Gewicht der abgleitenden Erde um das Gewicht Q″ vermehrt.

Befindet sich eine Strasse längs einer Futtermauer, so muss auch die Belastung noch in Rechnung gebracht werden, welche durch das Fahren der Lastwagen veranlasst wird; auch dürfen hier die Stösse nicht ausser Acht gelassen werden, welche vom schnellen Fahren der Wagen entstehen. Nach Eytelwein soll es in diesem Falle genügen, wenn man anderthalbfache Sicherheit rechnet, also $\frac{2}{3}$ S anstatt S in Rechnung bringt.

§ 34.

Aufgabe. Den Mittelpunkt des horizontalen Erddruckes S zu ermitteln.

Auflösung. Es sei Fig. 101. die Linie $cq = z$ und qr parallel ae. Das Dreieck cqr werde als normaler Querdurchschnitt desjenigen prismatischen Erdkörpers angesehen, dessen Gewicht K das Bestreben hat, das System um eine durch den Punkt a gelegte horizontale Achse zu drehen. Wenn nun der aus K hervorgehende Horizontalschub mit S bezeichnet wird, so ist nach §. 27. Formel III.

$$S = \frac{z^2 m}{2} (\text{Tang} \frac{\beta}{2})^2,$$

wenn α den Ruhewinkel der Erde hinter der Mauer bezeichnet, und $\beta = 90 - \alpha$ ist.

Es sei ferner das Umdrehungsmoment von $S = Fz$ und k die Zunahme von z: so ist $F(z+k) - Fz$ das Moment des aus $qrwv$ hervorgehenden Druckes. Dieser Druck ist nach III. §. 27.

$$= (z+k)^2 \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 - z^2 \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2$$

$$= \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 . [(z+k)^2 - z^2].$$

Dieser Druck wirkt in der Linie qv gegen die Mauer, und es ist deshalb der Hebelsarm desselben grösser als av und kleiner als aq, also etwa $= h - z - k'$, wenn k' eine Länge bezeichnet, welche kleiner als k ist. Es entsteht daher die Gleichung

$$F(z+k) - Fz = \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 [(z+k)^2 - z^2)] \ (h - z - k').$$

Aus dieser Gleichung folgt nun, dass

$$F(z+k) - Fz = \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 (2kz + k^2) \ (h - z - k'),$$

oder $\frac{F(z+k) - Fz}{k} = \frac{m}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 \ (2z + k) \ (h - z - k')$ ist.

Setzt man nun $k = 0$, so geht auch k' in 0 über, und man hat

$$Fz = \int_{z=o}^{z=h} mz \ (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 \ (h - z) \, dz,$$

und hieraus $Fh = m \ (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2 \frac{h^3}{6}$, als das Moment des horizontalen Erddruckes.

Nun ist aber der ganze Horizontaldruck gegen ca gleich $\frac{mh^2}{2} (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2$, folglich der Hebelsarm desselben in Bezug auf den Punkt a

$$= \frac{\frac{1}{6} m h^3 (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2}{\frac{1}{2} m h^2 (\text{Tang}\frac{\beta}{2})^2} = \frac{h}{3},$$

d. h. der Mittelpunkt des horizontalen Erddruckes ist um den dritten Theil der Höhe der Mauer von der Grundfläche derselben entfernt.

§. 35.

Damit die Abmessungen einer Futtermauer auch dem nachtheiligsten Fall entsprechend gewählt werden, müssen zwei verschiedene Untersuchungen angestellt werden, von welchen die eine das Umkanten, die andere aber das Fortschieben der Mauer betrifft.

Damit der horizontalwirkende Erddruck S die Mauer nicht etwa umkante, muss das statische Moment desselben kleiner sein als die Stabilität der Mauer; und damit die Mauer nicht etwa gleitend fortgeschoben werden könne, muss der horizontale Erddruck kleiner sein als die durch das Gewicht der Mauer gebildete Reibung.

§. 36.

Aufgabe. Der normale Querschnitt einer Futtermauer sei ein Rechteck von der Höhe h und Breite x Fig. 102., man soll die Breite x in der Art bestimmen, dass die Mauer von dem horizontalen Erddruck weder umgeworfen noch fortgeschoben werden könne.

Auflösung. Es werde hier, so wie auch in den folgenden Aufgaben vorausgesetzt, dass die Futtermauer auf einer horizontalen Ebene stehe, und dass q das Gewicht der Kubikeinheit Mauerwerk bezeichne. Es muss alsdann in Bezug auf das Umkanten um den Punkt A, die Länge $l =$ Eins gesetzt,

$$1)\ \frac{h x^2}{2} q > \frac{m h^2}{2} \left(\text{Tang}\,\frac{\beta}{2}\right)^2 \cdot \frac{h}{3},$$

und in Bezug auf Fortschieben

$$2)\ \mu h x q > \frac{m h^2 \left(\text{Tang}\,\frac{\beta}{2}\right)^2}{2} \text{ sein.}$$

Aus 1) ist $x > \sqrt{\left(\frac{m h_2 \left(\text{Tang}\,\frac{\beta}{2}\right)^2}{3 q},\right)}$

und aus 2), $x > \frac{m h^2 \left(\text{Tang}\,\frac{\beta}{2}\right)^2}{2 \mu h q}$; oder, den Horizontaldruck der Erde mit S bezeichnet,

$$1)\ x > h\sqrt{\frac{2S}{3q}} \text{ für Umwerfen,}$$

$$2)\ x > \frac{S}{\mu h q} \text{ für Fortschieben.}$$

Bei der Voraussetzung, dass die Mauer aus Sandstein construirt werde, und dass hinter derselben angefeuchteter Sand sich befinde, würde

$$q = 145 \text{ Pfund, und}$$
$$m = 128\tfrac{1}{4} \text{ Pfund sein,}$$

und nach Tab. I. §. 28. $S = \frac{m h^2}{2}\left(\text{Tang}\frac{\beta}{2}\right)^2 = 27{,}04345 . h^2$ sein; mithin in Bezug auf Umwerfen

$$x > h . \sqrt{\frac{2 . 27{,}04345}{3 . 145}},$$
$$\text{oder } x > 0{,}352 . h.$$

In Bezug auf Fortschieben, den Reibungscoefficient $\mu = \frac{1}{2}$ gerechnet, hat man aber

$$x > \frac{27{,}04345 . h}{\frac{1}{2} . 145},$$
$$\text{oder } x > 0{,}373 . h.$$

Wird aber trockner pulverisirter Thon hinter der Futtermauer gedacht, so ist nach Tabelle I. §. 28. der Horizontalschub $S = \frac{m h^2}{2}\left(\text{Tang}\frac{\beta}{2}\right)^2 = 10{,}1228 . h^2$,

$$\text{für Umwerfen daher } x > h . \sqrt{\frac{2 . 10{,}1228}{3 . 125}},$$
$$\text{oder } x > 0{,}216 . h;$$
$$\text{für Fortschieben aber } x > \frac{10{,}1228 . h}{\frac{1}{2} . 145}$$
$$\text{oder } x > 0{,}139 . h.$$

Den Horizontalschub der Erde gegen die Mauer nach Tabelle III. §. 31. berechnet, giebt für angefeuchteten Sand $S = 40{,}3284561\, h^2$. — In Bezug auf Umkanten der Mauer ist daher

$$x > h . \sqrt{\frac{2 . 40{,}3284561}{3 . 145}}, \text{ oder}$$

$x > h \cdot \sqrt{0{,}185418}$, oder

$x > 0{,}430 \cdot h$.

In Bezug auf Fortschieben ist ferner

$$x > \frac{40{,}3284561 \cdot h}{\frac{1}{2} \cdot 145},$$

oder $x > 0{,}559 \cdot h$

Für trocknen pulverisirten Thon hinter der Futtermauer ist nach Tabelle III.

$$S = 32{,}249518\, h^2,$$

daher in Bezug auf Umkanten

$$x > h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 32{,}249518}{3 \cdot 145}}$$

oder $x > 0{,}385\ h$;

und für Fortschieben

$$x > \frac{32{,}249518 \cdot h}{\frac{1}{2} \cdot 145},$$

oder $x > 0{,}444 \cdot h$.

Auf die Cohäsion, welche der Mörtel bewirkt, haben wir hier nicht Rücksicht genommen, da bei der Mauer aus Schnittsteinen die Mörtelverbindung häufig gar nicht Statt findet; und wenn sie vorhanden ist, dieselbe doch nur geringe Festigkeit besitzt. Bei den Futtermauern, welche aus Bruch- oder Mauersteinen aufgeführt werden, besitzt zwar die Mörtelverbindung eine bedeutende Festigkeit, die oft so gross ist, dass selbst die Steine früher zerbrechen, ehe die Mörtelverbindung vernichtet werden kann: dessen ungeachtet darf man auch hier die Cohäsion, welche der Mörtel bewirkt, nicht berücksichtigen. Die Stärke der Futtermauer muss nämlich für den nachtheiligsten Fall berechnet werden; sie muss also auch noch hinreichende Stabilität besitzen, wenn durch irgend eine nachtheilige Einwirkung die Mörtelverbindung zwischen zweien Steinschichten aufgehoben worden wäre, wo die Mauer alsdann doch nur vermöge ihres eignen Gewichts dem Druck der Erde das Gleichgewicht zu halten im Stande sein müsste.

§. 37.

Aufgabe. Es sei $ABCD$ Fig. 103. der normale Querschnitt einer Futtermauer von der Höhe h, deren vordere Seitenebene

n füssig dossirt, die hintere Seitenebene aber lothrecht ist; man sucht die obere Breite x der Mauer der Bedingung gemäss, dass weder ein Umkanten noch ein Fortschieben der Mauer Statt finden könne.

Auflösung. Der Horizontaldruck S der Erde gegen die Mauer ist nach Tabelle I. oder Tabelle III. bekannt; der Hebelsarm desselben ist $\frac{h}{3}$, mithin das Moment des horizontalen Erddruckes

$$= S \cdot \frac{h}{3}.$$

Dies Moment hat das Bestreben, die Stabilität der Mauer zu überwältigen. Diese letztere zu erhalten, zerlegen wir das Trapez $ABCD$ in das Rechteck $BCDE$ und in das rechtwinklige Dreieck ABE.

Das Gewicht der Kubikeinheit Mauerwerk gleich q und die Länge der Mauer = Eins gesetzt, giebt das Gewicht des Rechtecks $BCDE = hxq$; der Hebelsarm für den Drehpunkt A ist $nh + \frac{x}{2}$, daher das Moment $= \left(nh + \frac{x}{2}\right) . hxq$.

Es ist ferner das Moment des rechtwinkligen Dreiecks ABC $= \frac{nh^2}{2} . q . \frac{2}{3} nh$, und man hat daher in Bezug auf Umwerfen

$$\left(nh + \frac{x}{2}\right) hxq + \frac{1}{3} n^2 h^3 q > S . \frac{h}{3}$$

$$\text{oder } x^2 + 2nhx > \frac{2}{3}\left(\frac{S}{q} - n^2h^2\right),$$

und für den Fall des Gleichgewichtes

$$x^2 + 2hnx = \frac{2}{3}\left(\frac{S}{q} - n^2h^2\right)$$

$$\text{woraus } x = -nh + \sqrt{n^2h^2 + \tfrac{2}{3}\left(\frac{S}{q} - n^2h^2\right)}$$

$$\text{oder 1) } x = -nh + \sqrt{\tfrac{1}{3}\left(\frac{2S}{q} + n^2h^2\right)}$$

In Bezug auf Fortschieben der Mauer muss der horizontale Erd druck S gegen die Mauer kleiner sein als die Reibung, welche aus dem Gewicht der Mauer hervorgeht;

daher $\mu\left(xh+\frac{nh^2}{2}\right)q > S$; und für das Gleichgewicht

$$\mu\left(xh+\frac{nh^2}{2}\right)q = S$$

oder 2) $x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{nh}{2}$.

Nehmen wir nun an, es befände sich angefeuchteter Sand hinter der Futtermauer, so wäre nach Tabelle I. $S = 27{,}04345h^2$, daher nach Gleichung 1)

$$x = -nh + \sqrt{\tfrac{1}{3}\left(\frac{2\,.\,27{,}04345h^2}{q} + n^2h^2\right)},$$

und für $q = 145$ Pfund und $n = \frac{1}{8}$ wird

$$x = h\left[-\tfrac{1}{8} + \sqrt{\tfrac{1}{3}\cdot\left(\frac{2\,.\,27{,}04345}{145} + \frac{1}{64}\right)}\right]$$

oder $x = 0{,}235\,.\,h$ in Bezug auf Umdrehen der Mauer. Für Fortschieben hat man aber nach Gleichung 2), $\mu = \frac{1}{2}$ gerechnet,

$$x = \frac{27{,}04345h^2}{\frac{1}{2}h\,.\,145} - \frac{1}{8}\cdot\frac{h}{2}$$

oder $x = 0{,}311.h$ in Bezug auf Fortschieben der Mauer.

Hieraus geht hervor, dass, wenn hinter der Futtermauer angefeuchteter Sand als Füllmaterial sich befände, und wenn die Mauer vorn um $\frac{1}{8}$ ihrer Höhe dossirt wäre, alsdann die obere Breite x der Mauer in Bezug auf Umwerfen grösser als $0{,}235\,.\,h$, in Bezug auf Fortschieben aber $x > 0{,}311h$ sein müsste. Wenn aber angenommen würde, dass trockne pulverisirte Gartenerde hinter der Futtermauer als Füllmaterial sich befände, so würde der horizontale Erdschub gegen die Mauer nach Tabelle I. §. 28 $= 13{,}3613\,.\,h^2$ sein; daher für Umwerfen die obere Breite

$$x > h\left[-\tfrac{1}{8} + \sqrt{\tfrac{1}{3}\left(\frac{2\,.\,13{,}3613}{145} + \frac{1}{64}\right)}\right],$$

oder $x > 0{,}133\,.\,h$ in Bezug auf Umdrehen,

und für Fortschieben

$$x > \left(\frac{13{,}3613}{\frac{1}{2}\,.\,145} - \frac{1}{16}\right)h,$$

oder $x > 0{,}1218\,.\,h$.

Wird aber der horizontale Erddruck gegen die Mauer genommen, wie die Tabelle III. §. 31. ihn angiebt, so giebt die Rechnung eine grössere Oberbreite der Mauer an.

§. 38.

Aufgabe. Es sei *A B C D* Fig. 104. der normale Querschnitt einer Futtermauer von der Höhe h und Länge $l =$ Eins. Die vordere Mauerfläche sei lothrecht, die hintere aber n füssig dossirt; man sucht die obere Breite x der Mauer.

Auflösung. Bezeichnet q das Gewicht der Kubikeinheit Mauerwerk, so ist in Bezug auf den Drehpunkt A das Moment des Rechtecks $A B C E = \frac{hx^2}{2} q$, und das Moment vom Dreieck $D C E = \frac{nh^2q}{2} (x + \frac{1}{3} nh)$. Der Mauer zu Hülfe kommt hier aber noch das Gewicht der Erde, welche auf der dossirten Mauerfläche C D sich befindet, deren Moment $= \frac{nh^2m}{2} (x + \frac{2}{3} nh)$ ist; und es ist sonach

$$\frac{x^2hq}{2} + \frac{nh^2q}{2} (x + \tfrac{1}{3} nh) + \frac{nh^2m}{2} (x + \frac{2nh}{3}) > \frac{S \cdot h}{3},$$ wenn S den Horizontalschub der Erde und m das Gewicht der Kubikeinheit Erde ausdrückt.

Für das Gleichgewicht wäre daher

$$\frac{x^2hq}{2} + \frac{nh^2q}{2} (x + \tfrac{1}{3} nh) + \frac{nh^2m}{2} (x + \tfrac{2}{3} nh) = \frac{Sh}{3}$$

oder $$x^2 + x \left(nh + \frac{nhm}{q}\right) = \tfrac{2}{3} \frac{S}{q} - \tfrac{1}{3} n^2h^2 - \tfrac{2}{3} \frac{n^2h^2m}{q},$$

und hieraus

$$1) \; x = \frac{-nh(q+m) + \sqrt{\tfrac{1}{3}(3n^2h^2m^2 - n^2h^2q^2 - 2n^2h^2mq + 8S \cdot q)}}{2q}$$

In Bezug auf Fortschieben der Mauer ist dahingegen

$$\mu \left(hxq + \frac{nh^2}{2} q + \frac{nh^2m}{2}\right) > S,$$

und daher für das Gleichgewicht

$$2)\quad x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{nhm}{2q} - \frac{nh}{2}$$

Für trocknen Sand hinter der Futtermauer wäre nach Tabelle I. §. 28. der horizontale Erddruck $S = 16{,}59196\,.\,h^2$ und $m = 108$ Pfund; daher für $n = \frac{1}{5}$, $q = 145$ Pfund und $\mu = \frac{1}{2}$, wäre aus Gleichung 1)

$$x = \frac{-\frac{1}{5}h(145+108)+\sqrt{\frac{1}{5}\left(\frac{3h^2108^2}{25}-\frac{3}{25}h^3.145^2-\frac{2}{25}h^2108.145+8.16{,}59196h^3.145\right)}}{2\,.\,145}$$

und hieraus $x = 0{,}086\,.\,h$.

Aus der Gleichung 2) findet man dahingegen

$$x = \frac{16{,}59196h}{\frac{1}{2}.145} - \frac{\frac{1}{5}h\,.\,108}{290} - \frac{h}{10}$$

$$= h\left(\frac{33{,}18392}{145} - \frac{108}{1450} - \frac{1}{10}\right)$$

$$= 0{,}05437\,.\,h\,.;$$

d. h. es muss in Bezug auf Umwerfen der Mauer die obere Breite $x > 0{,}086\,.\,h$, und in Bezug auf Fortschieben $x > 0{,}05437\,.h$ sein, wenn die Mauer durch den Druck der Erde nicht überwältigt werden soll.

Es hat zwar seine Richtigkeit, dass die auf der schiefen Ebene CD lagernde Erdmasse vom Gewicht $\frac{nh^2m}{2}$ der Stabilität der Mauer zu Gute kommt; dessen ungeachtet glauben wir empfehlen zu müssen, diesen lothrechten Erddruck ausser Rechnung zu lassen; da der Fall sehr leicht vorkommen kann, dass die Erde unmittelbar hinter der Mauer auf eine gewisse Tiefe, welche kleiner als h ist, herausgehoben wird, wo dann der Horizontaldruck der Erde unten immer noch gegen die Mauer wirken kann, während der grösste Theil der Erde, deren Gewicht der Mauer zu Hülfe kommt, hinwegfällt. Für diesen Fall hat man aber in Bezug auf Umwerfen

$$\frac{x^2hq}{2} + \frac{nh^2q}{2}\left(x + \tfrac{1}{3}nh\right) > S.\frac{h}{3}$$

und hieraus für das Gleichgewicht

$$x = -\frac{nh}{2} + \sqrt{\frac{n^2h^2}{4} + \frac{2S}{3q} - \frac{n^2h^2}{3}}$$

oder 1) $$x = -\frac{nh}{2} + \tfrac{1}{3}\sqrt{\tfrac{1}{3}\left(\frac{8S}{q} - n^2h^2\right)}$$

In Bezug auf Fortschieben wäre aber

$$\mu\left(hxq + \frac{nh^2q}{2}\right) > S, \text{ oder für das Gleichgewicht}$$

$$\mu\left(hxq + \frac{nh^2q}{2}\right) = S$$

woraus 2) $$x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{nh}{2}.$$

Für trocknen Sand hinter der Futtermauer wäre $S = 16{,}59196h^2$ nach Tabelle I. §. 28., und $n = \frac{1}{5}$ gerechnet, gäbe nach Gleichung 1)

$$x = -\tfrac{1}{5}\cdot\frac{h}{2} + \tfrac{1}{2}\sqrt{\tfrac{1}{3}\left(\frac{8\,.\,16{,}59196h^2}{145} - \frac{h^2}{25}\right)}$$

$$= \frac{h}{2}\left(-\tfrac{1}{5} + \sqrt{0{,}2918}\right)$$

$$= 0{,}341h \text{ für Umdrehen.}$$

In Bezug auf Fortschieben aber

$$x = \frac{16{,}59196h^2}{\frac{1}{2}\,.\,145\,.\,h} - \frac{h}{10}$$

oder $$x = 0{,}12885\,.\,h$$

§. 39.

Die obere Stärke einer Futtermauer ist nicht allein von dem horizontalen Erddruck, welcher gegen die Mauer wirkt, abhängig; sondern auch noch von andern schädlichen Einwirkungen, durch welche der Ruin der Mauer herbeigeführt werden kann. Dahin gehören die nachtheiligen Erschütterungen, welche durch das Fahren längs der Mauer veranlasst werden; so wie noch insbesondere die Wirkung des Frostes, durch welche schwache Futtermauern in ihren oberen Theilen sehr leicht beschädigt werden können.

Es gilt deshalb als Regel, die obere Breite $b = \frac{1}{5}$ von der

Höhe h der Futtermauer zu nehmen, wenn mit schweren Lastwagen zur Seite der Mauer gefahren wird; und wenn dies nicht der Fall ist, $b = \frac{h}{6}$ oder $= \frac{h}{7}$ zu machen. Hierbei muss jedoch vorausgesetzt werden; dass die Mauer durch Fussbänke, oder durch eine dossirte Ebene verstärkt werde.

Bei Futtermauern von Bedeutung darf die obere Breite derselben jedoch nicht geringer als 3 Fuss sein.

§. 40.

Aufgabe. Die Höhe einer Futtermauer sei $= h$, ihre obere Breite b gleich $\frac{h}{6}$ gegeben; die vordere Seitenebene sei lothrecht, die hintere aber dossirt, man soll die Breite derselben berechnen.

Auflösung. Es sei Fig. 105. A B C D der normale Querschnitt der Mauer, die Höhe A B sei gleich h, die obere Breite B C gleich b, und die gesuchte untere Breite A D gleich $b + x$.

Wenn nun q das Gewicht eines Kubikfusses Mauer und m das Gewicht eines Kubikfusses Erde bezeichnet, alle Abmessungen in Fussen verstanden, so ist das Moment vom Rechteck A B C E in Bezug auf den Drehpunkt A gleich $\frac{b^2 h}{2} q$, und das Moment des Dreiecks E C D gleich $\frac{hxq}{2}\left(b + \frac{x}{3}\right)$.

Ferner ist das Moment der lothrecht über C D lagernden Erdmasse

$$= \frac{hxm}{2}(b + \tfrac{2}{3}x),$$

und das Moment des horizontalen Erddruckes

$$= \frac{Sh}{3};$$

daher für das Gleichgewicht die Gleichung

$$\frac{b^2 hq}{2} + \frac{hxq}{2}\left(b + \frac{x}{3}\right) + \frac{hxm}{2}(b + \tfrac{2}{3}x) = \frac{Sh}{3},$$

und hieraus

$$1)\ x = -\tfrac{1}{2}\frac{3b(q+m)}{2m+q} + \sqrt{\left(\frac{3b(q+m)}{4m+2q}\right)^2 + \frac{2S - 3b^2 q}{q+2m}}$$

In Bezug auf Fortschieben ist aber

$$\mu\left(bhq + \frac{xhq}{2} + \frac{xhm}{2}\right) = S,$$

oder $x\,(hq + hm) = \frac{2S}{\mu} - 2bhq,$

und hieraus

$$2)\ x = \frac{2S}{\mu h\,(q+m)} - \frac{2bq}{q+m}.$$

Lässt man die auf der schiefen Ebene C D ruhende Erdmasse vom Gewichte $\frac{hxm}{2}$ ausser Rechnung, so ergiebt sich

$$1)\ \text{für Umwerfen}\ x = -\frac{3b}{2} + \sqrt{\frac{2S}{q} - \frac{3b^2}{4}}$$

$$2)\ \text{für Fortschieben}\ x = \frac{2S}{\mu hq} - 2b.$$

§. 41.

Aufgabe. Eine Futtermauer sei vorn n füssig und hinten k füssig dossirt; ihre Höhe sei gleich h gegeben, man sucht die obere Breite x der Mauer.

Auflösung. Fig. 106. stelle den normalen Querschnitt der Mauer vor. Die Linien B E und C F auf A D normal gedacht, sei $AE = nh$ und $FD = kh$.

Die Länge l der Mauer sei = Eins, das Gewicht der Kubikeinheit Mauerwerk gleich q und das der Erde gleich m. In Bezug auf Umwerfen ist alsdann das Moment des Dreiecks A B E, den Punkt A als Drehpunkt gedacht,

$$= \frac{n^2 h^2 q}{3};$$

das Moment des mittleren Rechtecks B C F E

$$= x h \left(nh + \frac{x}{2}\right) q;$$

das Moment vom Dreieck C D F

$$= \frac{kh^2}{2}\,(nh + x + \tfrac{1}{3}kh)\,q;$$

und endlich das Moment der auf der Böschungsseite CD lagernden Erde, welche der Stabilität der Mauer zu Hülfe kommt

$$= \frac{k h^2 m}{2} (nh + x + \tfrac{2}{3} kh).$$

Für das Gleichgewicht entsteht daher die Gleichung

$$\frac{Sh}{3} = \frac{n^2 h^3}{3} q + xh\left(nh + \frac{x}{2}\right) q + \frac{kh^2}{2} q \left(nh + x + \frac{kh}{3}\right) + \frac{k h^2 m}{2} (nh + x + \tfrac{2}{3} kh)$$

oder

$$x^2 + xh\left(2n + k + \frac{km}{q}\right) + \left(nk + \frac{k^2}{3} + \frac{kmn}{q} + \tfrac{2}{3}\frac{k^2 m}{q} + \frac{2n^2}{3} - \frac{2S}{3h^2 q}\right) h^2 = 0$$

woraus

$$x = h\left[-\left(n + \frac{k}{2} + \frac{km}{2q}\right) + \sqrt{\left(n + \frac{k}{2} + \frac{km}{2q}\right)^2 + \frac{2S}{3qh^2} - kn - \frac{k^2}{3} - \frac{kmn}{q} - \tfrac{2}{3}\frac{k^2 m}{q} - \frac{2n^2}{3}}\right]$$

In Bezug auf Fortschieben ist aber für das Gleichgewicht

$$\mu\left[\tfrac{1}{2} nh^2 q + xhq + \tfrac{1}{2} kh^2 q + \tfrac{1}{2} kh^2 m\right] = S$$

oder

$$2)\ x = \frac{h}{2}\left[\frac{2S}{\mu h^2 q} - n - k - \frac{km}{q}\right]$$

Lässt man die auf der Böschungsseite CD lagernde Erdmasse ausser Rechnung, was stets zu empfehlen ist, so erhält man in Bezug auf Umwerfen der Mauer die Gleichung

$$1)\ x = h\left[-\left(n + \frac{k}{2}\right) + \sqrt{\left(n + \frac{k}{2}\right)^2 + \frac{2S}{3qh^2} - kn - \frac{k^2}{3} - \tfrac{2}{3} n^2}\right]$$

Für Fortschieben aber

$$2)\ x = \frac{h}{2}\left(\frac{2S}{\mu q h^2} - n - k\right)$$

§. 42.

Aufgabe. Die obere Breite b und die Höhe h einer auf beiden Seiten dossirten Futtermauer seien gegeben, man soll die untere Breite derselben berechnen.

und hieraus

$$1)\ x = -b + \sqrt{b^2 + \frac{4S}{3(q+m)} - \frac{2b^2q}{q+m}}.$$

Für Fortschieben ist aber

$$\mu\left[\left(bh + \frac{xh}{2}\right)q + \frac{xhm}{2}\right] = S$$

oder

$$2)\ x = \frac{2S}{\mu(q+m)h} - \frac{2bq}{q+m}$$

Ohne Berücksichtigung der auf der Fussbank befindlichen Erde erhält man für Umwerfen

$$1)\ x = -b + \sqrt{b^2 + \frac{4S}{3q} - 2b^2};$$

und für Fortschieben

$$2)\ x = \frac{2S}{\mu qh} - 2b.$$

§. 45.

Aufgabe. Die Aufgabe sei dieselbe wie die vorige, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Breite der Fussbank gleich d gegeben, die obere Breite der Mauer aber gesucht werde.

Auflösung. In Bezug auf Umwerfen um A ist das Moment vom Rechteck $ABCH$ gleich $\frac{x^2h}{2}q$, wenn x die obere Breite der Mauer bezeichnet. Ferner ist das Moment der Fussbank mit der darauf befindlichen Erde gleich $\frac{dh}{2}(q+m)\left(x+\frac{d}{2}\right)$, daher

$$\frac{x^2hq}{2} + \frac{dh}{2}(q+m)\left(x+\frac{d}{2}\right) = \frac{Sh}{3},$$

woraus

$$1)\ x = \frac{-d(q+m) + \sqrt{d^2(m^2-q^2) + \frac{8}{3}qS}}{2q}.$$

Für Fortschieben ist aber

$$\mu\left[xhq + \frac{dh}{2}(m+q)\right] = S$$

oder

$$2)\ x = \frac{S}{\mu qh} - \frac{d}{2}\,\frac{m+q}{q}$$

Ohne Berücksichtigung der auf der Fussbank ruhenden Erdmasse ist für Umwerfen

$$1)\ x = -\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{2S}{3q} - \frac{d^2}{4}};$$

und für Fortschieben

$$2)\ x = \frac{S}{\mu q h} - \frac{d}{2}.$$

§. 46.

Aufgabe. Die Höhe einer zu beiden Seiten lothrechten Futtermauer sei gleich h, ihre obere Breite b gleich $\frac{h}{6}$ gegeben. An der hintern Seite der Mauer seien zwei Fussbänke in gleichen Höhen angeordnet, man sucht die Breite x derselben. Figur 109.

Auflösung. In Bezug auf den Drehpunkt A ist das Moment vom Rechteck A B C D

$$= \frac{hb^2q}{2},$$

das Moment vom Rechteck F E D G

$$= \tfrac{2}{3}\, hxq\left(b + \frac{x}{2}\right),$$

das Moment des Rechtecks G H I K

$$= \frac{h}{3}\, x\, q\left(b + \frac{3x}{2}\right).$$

Ferner kommt der Mauer die auf den Fussbänken ruhende Erdmasse zu Hülfe, deren Moment

$$= \frac{h}{3}\, x\, m\left(b + \frac{x}{2}\right) + \tfrac{2}{3}\, hxm\left(b + \frac{3x}{2}\right) \text{ ist.}$$

Für Umwerfen daher die Gleichung

$$\frac{Sh}{3} = \frac{hb^2q}{2} + \left(\tfrac{2}{3}\, h\, x\, q + \frac{hxm}{3}\right)\left(b + \frac{x}{2}\right) + \left(\frac{h}{3}\, x\, q + \tfrac{2}{3}\, hxm\right)\left(b + \frac{3x}{2}\right),$$

woraus

$2\,S = 3b^2q + 6xb\,(q + m) + x^2\,(5q + 7\,m)$ ist,

und daher

$$1)\ x = \frac{-3b\,(q+m) + \sqrt{3b^2\,(3m^2 - 2q^2 - qm) + 2S\,(5q + 7m)}}{5q + 7m}$$

punkt A ist alsdann das Moment des rechtwinkligen Dreiecks A B G

$$= \frac{ah}{2} q \cdot \tfrac{2}{3} a;$$

das Moment des Rechtecks B C H G

$$= bhq\left(a + \frac{b}{2}\right),$$

und das Moment von D E F H

$$= \frac{h}{2} xq \left(a + b + \frac{x}{2}\right).$$

Zu Hülfe kommt der Stabilität der Mauer das Moment der auf der Fussbank ruhenden Erde, welches

$$= \frac{hxm}{2}\left(a + b + \frac{x}{2}\right) \text{ ist, mithin}$$

$$\frac{Sh}{3} = \frac{ahq}{2} \cdot \tfrac{2}{3} a + bhq\left(a + \frac{b}{2}\right) + \frac{hxq}{2}\left(a + b + \frac{x}{2}\right) + \frac{hxm}{2}\left(a + b + \frac{x}{2}\right),$$

oder

$$x^2 (q+m) + 2x(a+b)(q+m) + \tfrac{4}{3} a^2 q + 4abq + 2b^2 q - \frac{4S}{3} = 0,$$

woraus

$$1) x = -(a+b) + \sqrt{(a+b)^2 + \left(\frac{4S}{3} - \tfrac{4}{3} a^2 q - 4abq - 2b^2 q\right)\frac{1}{q+m}}.$$

Für Fortschieben erhält man die Gleichung

$$\mu\left[\left(\frac{ah}{2} + bh + \frac{xh}{2}\right) q + \frac{xhm}{2}\right] = S, \text{ oder}$$

$$2) x = \frac{2S}{\mu(q+m)h} - \frac{a+2b}{q+m} \cdot q.$$

Die auf den Fussbänken ruhende Erde ausser Rechnung gelassen, giebt die Gleichungen

$$1) x = -(a+b) + \sqrt{(a+b)^2 + \frac{4S}{3q} - \frac{4a^2}{3} - 4ab - 2b^2}$$

für Umwerfen,

und

$$2)\ x = \frac{2S}{\mu q h} - (a + 2b) \text{ für Fortschieben.}$$

§. 49.

Aufgabe. Die Höhe einer vorn dossirten Futtermauer sei gleich h gegeben, so wie ihre obere Breite $b = \frac{h}{6}$. An der hintern Seitenebene sollen 2 Fussbänke angeordnet werden, von welchen jede $\frac{h}{3}$ zur Höhe und x zur Breite habe; man sucht die Breite x jeder Fussbank. Fig. 112.

Auflösung, Bezeichnet a die Ausladung der Böschungsseite, so findet die Gleichung Statt

$$\frac{Sh}{3} = \frac{ah}{2} q \cdot \frac{2a}{3} + bhq\left(a + \frac{b}{2}\right) + \frac{hx}{3}(2q + m)\left(a + b + \frac{x}{2}\right) + \frac{hx}{3}(q + 2m)\left(a + b + \frac{3x}{2}\right),$$

und hieraus ist

$$1)\ x = -\frac{3(a+b)(q+m)}{5q+7m} + \sqrt{\frac{9(a+b)^2(q+m)^2}{(5q+7m)^2} + \frac{2S}{5q+7m} - \frac{2a^2+6ab+3b^2}{5q+7m} \cdot q}.$$

In Bezug auf Fortschieben ist aber

$$\mu\left[q\left(\frac{ah}{2} + bh + hx\right) + hxm\right] = S$$

oder

$$2)\ x = \frac{S}{\mu(q+m)h} - \frac{(a+2b)q}{2(q+m)}.$$

Ohne Berücksichtigung der Erde, welche auf den Fussbänken lagert, hat man für Umwerfen

$$1)\ x = -\frac{3(a+b)}{5} + \sqrt{\left(\frac{9(a+b)^2}{25} + \frac{2S}{5q} - \frac{2a^2+6ab+3b^2}{5}\right)}.$$

Für Fortschieben aber

§. 50.

Aufgabe. Eine Futtermauer, welche zu beiden Seiten lothrechte Ebenen hat, sei in der vorderen Seitenebene mit lothrechten rechtwinkligen Strebepfeilern verbunden worden, deren Entfernung von Mitte zu Mitte der Pfeiler gleich l ist; man sucht die Breite x der Mauer. Fig. 113.

Auflösung. Es sei h die gegebene Höhe der Mauer, a und b seien die Abmessungen des horizontalen Querschnitts eines Pfeilers, q sei das Gewicht der Kubikeinheit Mauer, und S bezeichne den horizontalen Erddruck gegen die Mauer.

Wenn die Strebepfeiler mit der Mauer innig verbunden worden sind, so dass eine Trennung derselben von der Mauer nicht Statt finden kann, würde für das mögliche Umwerfen die Drehachse durch die untere äussere Kante des Strebepfeilers angenommen werden müssen. In Bezug auf diese Drehachse ist dann die Stabilität der Mauer und die eines Pfeilers auf die Länge l

$$= \frac{ab^2hq}{2} + xhlq\ (b + \frac{x}{2});$$

und das Moment des horizontalen Erddrucks

$$= \frac{Sh}{3}, \text{ daher}$$

$$\frac{ab^2hq}{2} + xhlq\ (b + \frac{x}{2}) = \frac{Sh}{3} . l, \text{ oder}$$

$$x^2 + 2bx + \frac{ab^2}{l} = \frac{2S}{3q}, \text{ und hieraus}$$

$$1)\ x = -b + \sqrt{\left(b^2 + \frac{2S}{3q} - \frac{ab^2}{l}\right)}.$$

In Bezug auf Fortschieben ist aber

$$\mu\,[xhl + abh]\,q = Sl,$$

oder

$$2)\ x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{ab}{l}.$$

§. 51.

Aufgabe. Eine zu beiden Seiten lothrechte Mauer soll vorn mit rechtwinkligen Strebepfeilern, und hinten mit einer Fussbank

von der Höhe $\frac{h}{2}$ und Breite d versehen werden; die mittlere Entfernung der Strebepfeiler sei gleich l, man sucht die obere Breite x der Mauer. Fig. 114.

Anflösung. Mit Berücksichtigung des Gewichtes der Erde auf der Fussbank ist in Bezug auf Umdrehen für die Länge l der Mauer

$$\frac{Sk}{3}l = \frac{b^2ha}{2}q + xhlq\,(b+\frac{x}{2}) + \frac{hd}{2}(q+m)(b+x+\frac{d}{2})l,$$

wenn a und b die Abmessungen vom Querschnitt des Pfeilers bezeichnen; daher ist

$$x^2 + x\,\left(2b + \frac{d(q+m)}{q}\right) + \frac{ab^2}{l} + \frac{db}{q}(q+m) + \frac{d^2(q+m)}{2q} = \frac{2S}{3q},$$

und hieraus

$$1)\ x = -\frac{2bq + d(q+m)}{2q} + \sqrt{\left[\frac{2bq+d(q+m)}{2q}\right]^2 + \frac{2S}{3q} - \frac{ab^2}{l} - \frac{db}{q}(q+m) - \frac{d^2(q+m)}{2q}}$$

Für Fortschieben der Mauer erhält man die Gleichung

$$\mu\left[(abh + xhl + \frac{hdl}{2})\,q + \frac{h}{2}dlm\right] = Sl,$$

$$\text{daher } 2)\ x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{dm}{2q} - \frac{ab}{l} - \frac{d}{2}.$$

Ohne Berücksichtigung der Erde auf der Fussbank ist für Umdrehen

$$1)\ x = -(b+\frac{d}{2}) + \sqrt{(b+\frac{d}{2})^2 + \frac{2S}{3q} - \frac{ab^2}{l} - db - \frac{d^2}{2}},$$

und für Fortschieben

$$2)\ x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{d}{2} - \frac{ab}{l}.$$

§. 52.

Aufgabe. Eine zu beiden Seiten lothrechte Mauer soll vorn mit rechtwinkligen Strebepfeilern und hinten mit zwei Fussbänken versehen werden, von welchen jede d zur Breite und

$\frac{h}{3}$ zur Höhe habe. Die mittlere Entfernung der Strebepfeiler sei gleich l, man sucht die obere Breite x der Mauer. Fig. 115.

Auflösung. Mit Berücksichtigung der Erde auf den Fussbänken ist für die Länge l die Stabilität der Mauer

$$= \frac{ab^2k}{2}q + xhlq\,(b + \frac{x}{2}) + \frac{k}{3}dl\,(2q + m)\,(b + x + \frac{d}{2})$$
$$+ \frac{k}{3}dl\,(q + 2m)\,(b + x + \frac{3d}{2}),$$

wenn a und b die Abmessungen vom Querschnitt des Strebepfeilers bezeichnen.

Ferner ist das Moment des horizontalen Erddruckes

$$= \frac{Shl}{3}, \text{ daher}$$

$$\frac{Shl}{3} = \frac{ab^2kq}{2} + xhlq\,(b + \frac{x}{2})$$
$$+ \frac{k}{3}dl\,(3bq + 3bm + 3qx + 3mx + \frac{5dq}{2} + \frac{7md}{2})$$

und hieraus

$$x = -(b + d + \frac{dm}{q})$$
$$+ \sqrt{(b + d + \frac{dm}{q})^2 + \frac{2S}{3q} - \frac{ab^2}{l} - 2bd - \frac{2bdm}{q} - \frac{5}{3}d^2 - \frac{7d^2m}{3q}}$$

oder 1) $x = -(b + d + \frac{dm}{q})$
$$+ \sqrt{b^2 + \frac{d^2m^2}{q^2} - \frac{2}{3}d^2 - \frac{d^2m}{3q} + \frac{2S}{3q} - \frac{ab^2}{l}}.$$

In Bezug auf Fortschieben der Mauer ist aber

$$lS = \mu\,(abhq + lxhq + hdql + hdml), \text{ oder}$$

$$2)\ x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{ab}{l} - d - \frac{dm}{q}.$$

Ohne Berücksichtigung des Gewichtes der Erde auf den Fussbänken ist

für Umdrehen

$$1)\ x = -(b+d) + \sqrt{\left(b^2 + \frac{2S}{3q} - \tfrac{2}{3}d^2 - \frac{ab^2}{l}\right)},$$

und für Fortschieben

$$2)\ x = \frac{S}{\mu hq} - \frac{ab}{l} - d.$$

§. 53.

Aufgabe. Eine Mauer von der Höhe h, Breite b und Länge l stehe auf einer horizontalen Ebene, und besitze hinreichende Stabilität, um dem horizontal wirkenden Erddruck S das Gleichgewicht zu halten; man soll das Profil einer dossirten Mauer bestimmen, welche bei demselben Material, derselben Höhe und Länge, dieselbe Stabilität habe, deren Kubikinhalt aber nur $\frac{n}{m}$ des Volumens der erstern Mauer sei. Fig. 116.

Auflösung. Es sei A B C D der normale Querschnitt der dossirten Mauer; ihre obere Breite sei x, und die Ausladung der Dossirung sei y. Wird die dossirte Ebene in der äussern Seitenebene der Mauer angebracht, so ist die Stabilität der Mauer, in Bezug auf den Punkt A

$$= \tfrac{1}{2}\,hlyq \cdot \tfrac{2}{3}y + hlxq\left(y + \frac{x}{2}\right);$$

die Stabilität der erstern Mauer ist aber $= bhlq \cdot \frac{1}{2}b$, daher

$$\tfrac{1}{2}\,hlyq \cdot \tfrac{2}{3}y + hlxq\left(y + \frac{x}{2}\right) = bhlq \cdot \tfrac{1}{2}b$$

oder 1) $3x^2 + 2y^2 + 6xy = 3b^2$.

In Hinsicht des Volumens ist aber

$$\frac{n}{m}\,bhl = hlx + \frac{hly}{2}$$

oder 2) $2x + y = 2 \cdot \frac{n}{m}b$.

Aus diesen zwei Gleichungen findet man

$$x = b \cdot \left[-\frac{2n}{m} + \sqrt{12 \cdot \left(\frac{n}{m}\right)^2 - 3}\right]$$

$$y = 2 \cdot b \left[3 \cdot \frac{n}{m} - \sqrt{12 \left(\frac{n}{m}\right)^2 - 3} \right].$$

Da nun die Breite x der Mauer nicht negativ sein kann, muss

$$\sqrt{12 \cdot \left(\frac{n}{m}\right)^2 - 3} > \frac{2n}{m} \text{ sein, oder}$$

$$12 \cdot \left(\frac{n}{m}\right)^2 - 3 > \frac{4n^2}{m^2},$$

$$\text{oder } 8\left(\frac{n}{m}\right)^2 > 3,$$

$$\text{daher } \frac{n}{m} > \sqrt{\left(\tfrac{3}{8}\right)},$$

$$\text{d. h. } \frac{n}{m} > 0{,}61.$$

Gesetzt nun, es sollte bei der neuen Mauer $\frac{1}{5}$ des Materials der erstern Mauer erspart werden, so wäre $\frac{n}{m} = \frac{4}{5}$, daher

die obere Breite $x = 0{,}56 \cdot b$

und $y = 0{,}47 \cdot b$.

§. 54.

Aufgabe. Eine Mauer von der Breite b, Höhe h und Länge l sei schadhaft geworden, und soll durch eine andere ersetzt werden, welche bei demselben Material, derselben Höhe und Länge, eben dieselbe Stabilität besitze, deren Breite aber nur $\frac{b}{2}$ betrage. Wie ist die Anordnung zu treffen?

Auflösung. Weil die Breite der neuen Mauer nur die Hälfte von der Breite der alten Mauer sein soll, würde die Hälfte des Materials der alten Mauer erspart werden. Durch eine dossirte Mauer ist dies nach dem Vorangehenden nicht möglich, und es soll deshalb eine zu beiden Seiten lothrechte Mauer gewählt werden, welche in der äussern Seitenebene mit rechtwinkligen Pfeilern verbunden wird, deren horizontaler Querschnitt die Abmessungen a und d habe, und welche von Mitte zu Mitte in der Entfernung x Fig. 117. angebracht werden sollen. Es ist alsdann die Stabilität der neuen Mauer auf die Länge x

$$= \frac{ad^2hq}{2} + \frac{b}{2} hqx \left(d + \frac{b}{4}\right);$$

die Stabilität der alten Mauer ist aber

$$= bhxq \cdot \frac{b}{2}, \text{ mithin}$$

$$\frac{ad^2hq}{2} + \frac{b}{2} hqx \left(d + \frac{b}{4}\right) = \frac{b^2hx}{2} q,$$

$$\text{woraus } x = \frac{4ad^2}{b(3b - 4d)}.$$

§. 55.

Wenn hinter einer Futtermauer Wasser anstatt Erde sich befindet, und ist h die Höhe der Mauer, l gleich Eins ihre Länge, so ist der Horizontaldruck S gegen die Mauer $= \frac{h^2}{2}$ 66 Pfund $= 33\ h^2$ in Pfunden, die Höhe h in Fussen ausgedrückt. Dieser Horizontaldruck bleibt derselbe, die Mauer mag hinten von einer lothrechten Ebene, oder von gebrochenen lothrechten Ebenen, wie bei Fussbänken, oder auch von einer dossirten Ebene begrenzt sein.

Nach hydrostatischen Gesetzen befindet sich der Mittelpunkt des horizontalen Wasserdruckes in der Entfernung $\frac{h}{3}$ von unten; demnach ist das Moment des horizontalen Wasserdruckes gleich $\frac{S \cdot h}{3} = \frac{33 \cdot h^3}{3} = 11 \cdot h^3$.

Befindet sich schwimmender Morast oder durch Nässe erweichte Erde hinter der Mauer, so möchte hieraus der grösste Schub gegen die Mauer hervorgehen, da alsdann der Horizontaldruck S gleich $\frac{h^2}{2} \cdot \delta\gamma$, und das Moment davon $= \frac{h}{3} \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \delta\gamma = \frac{h^3}{6} \delta . 66$ $= 11 \cdot h^3\ \delta$ ist, wenn δ das specifische Gewicht des schwimmenden Morastes bezeichnet.

Jedenfalls ist aber $\delta > 1$, daher auch der Druck S gleich $\frac{h^2}{2} \delta\gamma = 33 \cdot \delta h^2$ der grösste Werth von S, welcher nur irgend vorkommen kann. Die specifischen Gewichte der trocknen und

der angefeuchteten Erdarten sind zwar bekannt; allein das specifische Gewicht δ einer erweichten Erdart, oder des flüssig gewordenen Morastes, ist so veränderlich, dass dasselbe in jedem andern Falle auch ein Anderes ist, da dasselbe abhängig ist von dem Verhältnisse, in welchem das Wasser den festen Theilen beigemengt ist.

Die specifischen Gewichte der gewöhnlichen Erdarten sind:

1) Sand, trockner = 1,638
2) Sand mit Wasser gesättigt = 1,945
3) Lehm, fetter, trockner = 1,517 auch 1,6
4) Lehm, fetter, nasser = 1,664
5) Lehmigte festgestampfte Erde, trocken = 1,929
6) Lehmigte festgestampfte Erde, nass = 2,063
7) Feste Gartenerde, trocken = 1,63
8) Feste Gartenerde, nass = 2,047
9) Trockne magere Erde = 1,338
10) Gemeiner Thon = 1,89.

§. 56.

Wenn weder Erde noch Wasser den Schub gegen eine Mauer erzeugt, sondern muss die Mauer irgend einem System von Kräften das Gleichgewicht halten, so drückt die Grösse der Resultante jener Kräfte das Bestreben aus, womit das System von Kräften auf die Mauer einwirkt. Aus der Grösse und aus der Richtung der Resultante lässt sich aber in jedem besondern Falle der Horizontalschub gegen die Mauer ermitteln, so wie auch der Hebelsarm dieser Kraft, und hieraus nach dem Bisherigen die Abmessungen der Mauer.

§. 57.

Aufgabe. Es sei $ABCDE$ Fig. 118. der Grundriss einer frei stehenden cylindrischen Mauer; die Figur sei ein concentrisches Ringstück, dessen Mittelpunktswinkel gleich 2α gegeben ist, so wie der äussere Radius MD gleich r und die Höhe h der Mauer. In der Richtung CM wirke nach horizontaler Richtung eine Kraft P in der Höhe h über der Ebene, auf welcher die Mauer steht; man soll die Breite ED der Mauer der Bedingung gemäss bestimmen, dass dieselbe von jener Kraft P nicht umgeworfen werden könne.

Auflösung. Es sei der innere Radius ME des Ringstücks $ABDE$ gleich x, die Breite der Mauer sonach gleich $r - x$. Der Schwerpunkt des Ringstücks sei s, die Länge Ms daher gleich $\frac{2}{3} \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha}{\alpha} \cdot \frac{r^3 - x^3}{r^2 - x^2}$, wenn α im Bogenmaass für den Radius gleich Eins gegeben ist.

Die Stabilität der Mauer in Bezug auf die Drehachse, welche durch die Sehne AE gedacht wird, ist daher

$$= (r^2 - x^2)\,\alpha\,h\,q\,[\tfrac{2}{3}\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\alpha} \cdot \frac{r^3 - x^3}{r^2 - x^2} - x\,\text{Cos}\,\alpha],$$

wenn q das Gewicht der Kubikeinheit der Mauer bezeichnet.

Das Moment der Kraft P ist aber gleich $P.h$, daher

$$Ph < (r^2 - x^2)\,\alpha\,h\,q\,[\tfrac{2}{3} \cdot \frac{\text{Sin}\,\alpha}{\alpha} \cdot \frac{r^3 - x^3}{r^2 - x^2} - x\,\text{Cos}\,\alpha];$$

und für das Gleichgewicht,

$$x^3 - \frac{3r^2\alpha}{3\alpha - 2\,\text{Tang}\,\alpha} \cdot x + \frac{3Ph - 2r^3hq\,\text{Sin}\,\alpha}{hq(2\,\text{Sin}\,\alpha - 3\alpha\,\text{Cos}\,\alpha)} = 0,$$

woraus der innere Radius x des Ringstücks berechnet werden kann. Ist x berechnet worden, so ist auch die Breite ED der Mauer bekannt, indem dieselbe gleich $r - x$ ist.

§. 58.

Die Aufgabe sei dieselbe wie die vorige, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Kraft P in der Richtung MC gegen die Mauer wirke.

Auflösung. Das Moment der Kraft P bleibt dasselbe, die Stabilität der Mauer ändert sich aber. Denkt man nämlich durch den Punkt C eine Tangente an dem horizontalen Kreisbogen BCD Fig. 118., so ist diese als Drehachse anzunehmen, und daher der Hebelsarm des Gewichts der Mauer gleich $MC - Ms$ gleich $r - \frac{2}{3}\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\alpha} \cdot \frac{r^3 - x^3}{r^2 - x^2}$.

Für das Gleichgewicht ist sonach

$$Ph = (r^2 - x^2)\,\alpha\,qh\left[r - \tfrac{2}{3}\frac{\text{Sin}\,\alpha}{\alpha} \cdot \frac{r^3 - x^3}{r^2 - x^2}\right],$$

und hieraus

$$x^3 - \frac{3r\alpha}{2\,\text{Sin}\,\alpha}x^2 + \frac{3\alpha r^3}{2\,\text{Sin}\,\alpha} - \frac{3P}{2q\,\text{Sin}\,\alpha} - r^3 = 0.$$

§. 59.

Aufgabe. Es sei **ABCDEF** Fig. 119. der Grundriss eines Pfeilers, dessen Höhe gleich h ist. Die Länge **AF** sei gleich **FE** gleich a, und Winkel **AFE** gleich 2α gegeben. In der Linie **CF**, welche den Winkel **AFE** halbirt, wirke eine horizontale Kraft **P** in der Höhe $\frac{h}{2}$ über der Ebene, auf welcher der Pfeiler steht, auf Umwerfen desselben; man soll die Breite **AB** gleich **ED** gleich x der Bedingung gemäss bestimmen, dass der Pfeiler von der Kraft **P** nicht umgeworfen werde.

Auflösung. Zunächst ist der Schwerpunkt von dem horizontalen Querschnitte des Pfeilers zu ermitteln. Als Drehachse würde die Linie **AE** gelten. Den Schwerpunkt der Figur **ABCDEF** zu ermitteln, bilde man die Momente der Dreiecke **HCI, AFE, AHB** und **EDI**; subtrahire sodann die Summe der Momente der drei letzteren Dreiecke von dem Momente des Dreieckes **HCI**, der Unterschied giebt das Moment der Figur **ABCDEF.**

Nun ist aber $EA = 2a \operatorname{Sin}\alpha$,

$AH = x \operatorname{Sec}\alpha$,

und $EI = x \operatorname{Sec}\alpha$;

daher die Grundlinie $HI = 2a \operatorname{Sin}\alpha + 2x \operatorname{Sec}\alpha$, und die Höhe $GC = a \operatorname{Cos}\alpha + x \operatorname{Cosec}\alpha$.

Das Moment des Dreiecks ***IHC*** in Bezug auf die Drehlinie ***HI*** ist sonach $= \frac{1}{3}(a \operatorname{Sin}\alpha + x \operatorname{Sec}\alpha)(a \operatorname{Cos}\alpha + x \operatorname{Cosec}\alpha)^2$.

In Bezug auf dieselbe Drehlinie ist ferner das Moment des Dreiecks $AFE = \frac{a^3}{3} \operatorname{Sin}\alpha \operatorname{Cos}\alpha^2$, und das Moment vom Dreieck $AHB = \frac{x^2}{2} \operatorname{Tang}\alpha \cdot \frac{x}{3} \operatorname{Sin}\alpha = \frac{x^3}{6} \operatorname{Tang}\alpha \operatorname{Sin}\alpha$. Eben so gross ist das Moment des Dreiecks ***EDI.***

Es ist sonach das Moment der Figur ***ABCDEF***

$$= \tfrac{1}{3}(a \operatorname{Sin}\alpha + x \operatorname{Sec}\alpha)(a \operatorname{Cos}.\alpha + x \operatorname{Cosec}\alpha)^2 - \frac{a^3}{3} \operatorname{Sin}\alpha \operatorname{Cos}\alpha^2 - \frac{x^3}{3} \operatorname{Tang}\alpha \operatorname{Sin}\alpha;$$

und wenn s den Schwerpunkt der Figur $ABCDEF$ bezeichnet, die Länge

$$Gs = \frac{\frac{1}{2}(a\,\mathrm{Sin}\,\alpha + x\,\mathrm{Sec}\,\alpha)\,(a\,\mathrm{Cos}\,\alpha + x\,\mathrm{Cosec}\,\alpha)^2 - \frac{a^3}{3}\mathrm{Sin}\,\alpha\,\mathrm{Cos}\,\alpha^2 - \frac{x^3}{3}.\mathrm{Tang}\,\alpha.\mathrm{Sin}\,\alpha}{(a\,\mathrm{Sin}\,\alpha + x\,\mathrm{Sec}\,\alpha)\,(a\,\mathrm{Cos}\,\alpha + x\,\mathrm{Cosec}\,\alpha) - \frac{a^2}{2}\mathrm{Sin}\,2\,\alpha - x^2\,\mathrm{Tang}\,\alpha}$$

Das Gewicht des Pfeilers ist

$$= [(a\,\mathrm{Sin}\,\alpha + x\,\mathrm{Sec}\,\alpha)(a\,\mathrm{Cos}\,\alpha + x\,\mathrm{Cosec}\,\alpha) - \frac{a^2}{2}\mathrm{Sin}\,2\alpha - x^2\mathrm{Tg}\,\alpha]h.q,$$

wenn q das Gewicht der Kubikeinheit bezeichnet; daher die Stabilität des Pfeilers

$$= \frac{hq}{6}[2(a\,\mathrm{Sin}\,\alpha + x\,\mathrm{Sec}\,\alpha)\,(a\,\mathrm{Cos}\,\alpha + x\,\mathrm{Cosec}\,\alpha)^2 - 2a^2\,\mathrm{Sin}\,\alpha\,\mathrm{Cos}\,\alpha^2 - 2x^2\,\mathrm{Tang}\,\alpha\,\mathrm{Sin}\,\alpha].$$

Das statische Moment der horizontal wirkenden Kraft P ist aber $= P \cdot \frac{h}{2}$, folglich

$$\frac{Ph}{2} < \frac{hq}{6}[2(a\,\mathrm{Sin}\,\alpha + x\,\mathrm{Sec}\,\alpha)\,(a\,\mathrm{Cos}\,\alpha + x\,\mathrm{Cosec}\,\alpha)^2 - 2a^2\,\mathrm{Sin}\,\alpha\,\mathrm{Cos}\,\alpha^2 - 2x^2\,\mathrm{Tang}\,\alpha\,\mathrm{Sin}\,\alpha];$$

oder für das Gleichgewicht

$$x^3 + x^2\frac{3a\,\mathrm{Sin}\,2\alpha}{2(1-\mathrm{Sin}\,\alpha^4)} + 3a^2x\frac{\mathrm{Sin}\,\alpha^2\,\mathrm{Cos}\,\alpha^2}{1-\mathrm{Sin}\,\alpha^4} - \frac{3P\,\mathrm{Sin}\,\alpha^2\,\mathrm{Cos}\,\alpha}{2q(1-\mathrm{Sin}\,\alpha^4)} = 0$$

woraus x entwickelt werden kann.

§. 60.

Wie verschieden überhaupt die Stärke einer Futtermauer sein muss, je nachdem das Hinterfüllungsmaterial anders angenommen wird, oder je nachdem das Material, woraus sie construirt wird, schwerer oder leichter ist, zeigen die zwei folgenden Tabellen; wobei wir angenommen haben, dass der Querschnitt der Mauer ein Rechteck sei, und nichts weiter, als das in gleicher Höhe mit der Mauer befindliche Füllmaterial, dagegen drücke. Den Horizontalschub der Erde gegen die Mauer haben wir nach §. 28. Tabelle I. genommen; die Tabelle III. §. 31. angewendet, würde eine grössere Stärke der Mauer geben.

Tabelle,

welche die Stärke einer vorn und hinten lothrechten Mauer angiebt, wenn dieselbe aus Sandstein constrairt werden soll, wovon der Kubikfuss 145 Pfund wiegt.

Füllmaterial hinter der Futtermauer.	Stärke der Futtermauer, wenn die Höhe derselben gleich h; in Bezug auf Umdrehen	in Bezug auf Fortschieben.	wenn die Höhe gleich 12 Fuss ist; in Bezug auf Umdrehen Fuss.	auf Fortschieben. Fuss.
1. Angefeuchteter Sand . . .	0,352 . h	0,373 . h	4,224 .	4,476 .
2. Angefeuchtete Gartenerde	0,341 . h	0,349 . h	4,092 .	4,195
3. Trockner Sand	0,276 . h	0,228 . h	3,312 .	2,745 .
4. Trockne pulv. Gartenerde	0,247 . h	0,184 . h	2,974 .	2,210
5. Trockner pulveris. Lehm	0,223 . h	0,149 . h	2,676 .	1,798 .
6. Trockner pulv. Thon . .	0,216 . h	0,139 . h	2,592 .	1,668 .
7. Stillstehendes Wasser . .	0,389 . h	0,455 . h	4,668	5,460
8. Schwimmender Morast, dessen sp. Gew. $\delta = \frac{4}{7}$	0,435 . h	0,568 . h	5,22	6,816

Tabelle,

welche die Stärke einer vorn und hinten lothrechten Mauer angiebt, wenn dieselbe aus gebrannten Mauersteinen construirt werden soll, wovon der Kubikfuss 105 Pfund wiegt.

Füllmaterial hinter der Futtermauer.	Stärke der Futtermauer, wenn die Höhe derselben gleich h; in Bezug auf Umdrehen	in Bezug auf Fortschieben	wenn die Höhe = 12 Fuss ist in Bezug auf Umdrehen Fuss.	auf Fortschieben. Fuss.
1. Angefeuchteter Sand . . .	0,413 . h	0,515 . h	4,956	6,180
2. Angefeuchtete Gartenerde	0,400 . h	0,482 . h	4,808	5,793 .
3. Trockner Sand	0,3243 . h	0,316 . h	3,891	3,792 .
4. Trockne pulv. Gartenerde	0,291 . h	0,254 . h	3,494	3,051 .
5. Trockner pulv. Lehm . .	0,262 . h	0,207 . h	3,144	2,484 .
6. Trockner pulv. Thon . .	0,253 . h	0,192 . h	3,045	2,304 .
7. Stillstehendes Wasser . .	0,457 . h	0,628 . h	5,485	7,542
8. Schwimmender Morast, dessen spec. Gew. $\delta = \frac{3}{4}$.	0,511 . h	0,784 . h	6,134	9,408 .

Die in diesen Tabellen angegebene Stärke der Mauer haben wir für den Fall des Gleichgewichts berechnet; es muss daher derselben der Sicherheit wegen noch etwas hinzugefügt werden. Für den hier angenommenen Fall giebt Eytelwein die Stärke der Mauer $= 0{,}2946 \cdot h$ an, oder 3,535′, wenn $h = 12$ Fuss ist.

Zweites Kapitel.

Von den Gewölben.

§. 61.

Gewölbe sind Bauwerke, deren Zweck dahin geht, entweder Räume zu überdecken, oder Massen zu stützen. Sie werden grösstentheils aus Schnittsteinen, Bruch- oder Backsteinen in der Weise construirt, dass alle die einzelnen Theile gegenseitig sich unterstützen, und einander durch gegenseitige Spannung im Gleichgewichte erhalten.

Obgleich die Griechen die Construction der Gewölbe zur Zeit Alexanders bereits kannten, kann deren Ausbildung doch nur den Etruskern und den Römern zugeschrieben werden. Unbestimmt bleibt es jedoch, ob die Erfindung derselben den Etruskern, oder den Griechen, oder den Aegyptern zugeschrieben werden müsse. Dies thut aber auch nichts zur Sache, indem dieselbe sehr füglich an verschiedenen Orten ganz unabhängig von einander hat Statt finden können. Jedenfalls gehen aber die Etrusker den Griechen voran, bei welchen Democritus erst gegen Ende des fünften Jahrhunderts vor Christi Geburt den Gewölbebau aus Keilsteinen erfunden haben soll.

Nur an den hochalterthümlichen Monumenten finden wir die ersten Andeutungen der Gewölbeconstruction. So ist z. B. in dem Thesaurenbau, dem Bau der Schatzhäuser, das Princip der Gewölbeconstruction, wenn auch nur in der vertikalen Fläche, durchaus nicht zu verkennen. Die Thesauren oder Schatzhäuser waren nämlich gewölbeartige, meist unterirdische Räume, welche muthmasslich zur Aufbewahrung von Kostbarkeiten und Schätzen bestimmt waren. Ihre Grundform war kreisrund, um dem Druck des umgebenden Erdreiches gehörig begegnen zu können. Horizontalliegende kreisrunde Steinschichten erhoben sich in einer Weise über einander, dass jeder Steinkreis über dem darunter

befindlichen vorkragte, bis endlich der oberste Kreis so verengt wurde, dass der Schluss vermittelst einer einzigen Platte gemacht werden konnte. Durch Abschrägung der hervorragenden kreisrunden scharfen Kanten wurde sodann eine aufsteigende Bogenlinie gebildet, wodurch das Innere ein gewölbeartiges, meist kugelförmiges Ansehen gewann. Jeder Stein der Steinschicht hatte zwar zwei parallele horizontale Lager; allein die Stossfugen erweiterten sich von innen nach aussen, und gaben daher dem Steine ein keilförmiges Ansehen, so dass in der That jeder einzelne Steinkreis nach dem Princip der Gewölbeconstruction gebildet war.

An dem sogenannten Löwenthore zu Micenä finden wir ebenfalls deutliche Andeutungen der Gewölbeconstruction, indem hier drei dreieckig zulaufende Steine in Form eines Sprengwerkes angeordnet, den obern Schluss des Thores bilden. Der eine dieser Steine wird als Deckstein von den zwei andern Steinen, den Strebesteinen, getragen. An diesen drei Steinen, welche aus einem sehr schönen dunkelgrünen Marmor bestehen, befindet sich die Reliefdarstellung zweier Löwen, welche gegen einen Kandelaber mit gewaltiger Kraft sich emporrichten.

Gehen wir zu andern Völkern über, z. B. den Aegyptern, so finden wir ebenfalls in dem hohen Alterthume deutliche Andeutungen des Princips der Gewölbeconstruction. Dies zeugen die Gänge in der grossen Pyramide unweit Memphis, woselbst zwei grosse Steine in der Form zweier Sparren gegeneinander gestellt sind, um die Decke der Kammer zu tragen. Dieselben Andeutungen werden in den alten Felsengräbern Aegyptens gefunden; so wie auch vornehmlich in den indischen Buddhisten, den Felsbauten.

Diese ersten Andeutungen des Princips der Gewölbeconstruction wurden jedoch weder bei den Griechen, noch bei den Aegyptern, zur äusserlich wirksamen Ausbildung gebracht, und zwar hauptsächlich wegen der abweichenden Formenbildung. Was nun aber in Griechenland unterblieb, das wurde in Italien von den Etruskern mit Besonnenheit und Kraft in grossartiger Weise durchgeführt. Zu den grossartigsten Gewölben der Etrusker gehören unstreitig die Cloaken zu Rom. Es sind dies unter-

lische gewölbte Kanäle, deren Bestimmung dahin ging, aus den ümpfen und den Seen, welche in der Nähe des palatinischen erges sich befanden, das Wasser gehörig abzuleiten, um die wischen den römischen Bergen befindlichen Niederungen be- rohnbar zu machen.

Der Hauptkanal dieses Riesenwerkes, welcher alle übrigen Nebenzweige aufnimmt, ist die berühmte Cloaca maxima, deren Sohle an der Einmündung in die Tiber 27 Fuss unter dem uns bekannten spätern Pflaster des alten Roms liegt, und deren Breite 20 Fuss beträgt. Dass die Fundamente dieser Anlage im Stande waren, über zwei Jahrtausende lang die riesigen Massen dieser Anlage ungestört tragen zu können, ist Beweis genug für die folgerechte Anordnung dieses Bauwerkes, welches unter der Herr- schaft der Tarquinier gegen Anfang des sechsten Jahrhunderts vor Chr. G. von etruskischen Baumeistern angelegt wurde. Eine andere gewölbte Anlage der Etrusker, nicht minder grossartig als die Cloaca maxima, ist der um das Jahr 393 ausgeführte Ableitungskanal des albanischen Sees, der mit grosser Kunst aus- geführt, auf eine Länge von 7500 Fuss durch hartes vulkanisches Gestein gebrochen wurde. An den Mündungen dieses Kanals befindet sich der regelmässigste Fugenschnitt des Gewölbebaues; insonders ist das hier angebrachte conische Gewölbe, als das erste bekannte Gewölbe dieser Art, höchst zweckmässig an- geordnet.

Uralte Gewölbe finden sich ferner noch an alten Gräbern in Mittel-Etrurien, so wie an einer alterthümlichen, sehr merk- würdigen Cisterne in Volterra, welche aus drei Tonnengewölben besteht, die von Pfeilern getragen werden.

Das allerälteste Monument des etruskischen Gewölbebaues möchte indess das uralte massige Thor von Volterra sein; wobei der Baumeister die Hauptmomente der Bogenbildung dadurch äusserlich darzustellen suchte, dass er am Schlussstein des Bogens und an den Steinen zunächst über dem Kämpfer, grosse und schwere menschliche Köpfe als Schmuck anbrachte. Für das überaus hohe Alter dieses Thores spricht der Umstand, dass der Gewölbbogen desselben mit seinen massigen Köpfen auf volter- ranischen Aschenkisten nachgebildet gefunden worden ist; woraus

hervorgeht, dass dasselbe schon den spätern Bewohnern Etruriens als ein Werk mythischer Vorzeit erscheinen musste.

Indess konnten die Etrusker sich von der ursprünglichen Schlichtheit und Massenhaftigkeit ihres Gewölbebaues nicht los machen. Dies geschah erst später bei den Römern, welche besonders zur Zeit der ersten Kaiser zum Zeichen der Macht und des Reichthums eines grossartigen, in die Augen fallenden Schmuckes bedurften, und deshalb sich genöthigt sahen, die für den allgemeinen Nutzen bestimmten Bauwerke mit aller möglichen Pracht aufzuführen.

Die Architectur der Römer nahm überhaupt eine doppelte Richtung: die des griechischen Säulenbaues, und die des etruskischen Gewölbebaues. Beide Principien der Formation suchten sie zu vereinigen. Den schlichten rohen Massen des etruskischen Gewölbebaues wurden zierlichere und gefälligere Formen gegeben, um dem Gewölbebau, seiner technisch practischen Anwendung wegen, eine grössere Ausdehnung zu geben.

In diesem Princip erstanden nun zu Rom mehrere prachtvolle Bauwerke: als z. B. das Pantheon, von Agrippa im Jahr 26 v. Chr. G. erbaut; ferner der Friedenstempel; die Brücke des Fabricius oder jetzige Engelsbrücke; die Bogengänge des Amphitheaters zu Nimes; die Bäder des Diocletian, u. m. a.

Der Gewölbebau der Römer beschränkte sich jedoch meist nur auf das Tonnengewölbe, auf das Kuppelgewölbe und das Kreuzgewölbe, gewöhnlich nach dem vollen Zirkel in gleicher Dicke ausgeführt.

§. 62.

Nachdem wir in dem Vorangegangenen das hohe Alter des Gewölbebaues nachgewiesen haben, kommen wir zur Erklärung der Gewölbe.

Die verschiedenen Arten der Gewölbe können nämlich auf vier Hauptarten zurückgeführt werden. Diese sind:

1) das cylindrische oder Tonnengewölbe,
2) das conische Gewölbe,
3) das sphäroidische Gewölbe,
4) das ebene Gewölbe.

Diese vier verschiedenen Gewölbearten heissen einfache Ge-

wölbe; alle übrigen aber zusammengesetzte Gewölbe. Die Wölbungsfläche des Tonnengewölbes geht aus der stetigen Bewegung einer geraden Linie auf zwei parallelen und congruenten Curven hervor, und ist sonach eine Cylinderfläche. Die Wölbungsfläche der zweiten Art aber geht aus der Bewegung einer geraden Linie um den einen ihrer Endpunkte hervor, während der andere Endpunkt auf einer Curve fortbewegt wird.

Die sphäroidische Wölbungsfläche geht dahingegen aus der Umdrehung einer beliebigen Curve um ihre Achse hervor. Diese Curve kann ein voller Halbkreis, ein Kreisbogenstück, eine Ellipse, eine Parabel, eine Hyperbel oder eine Kettenlinie sein, und ist deshalb unendlich verschieden. Weshalb denn auch das sphäroidische Gewölbe in gar mannigfacher Form construirt werden kann. Bei den cylindrischen Gewölben haben die Gewölbsteine eine mit der Achse parallele Richtung. Alle Lagerfugen hinreichend erweitert gedacht, schneiden sich in der Achse; die Stossfugen stehen aber normal auf derselben. Bei den conischen Gewölben schneiden sich die Richtungen der verschiedenen Steinschichten in einem Punkte, in der Spitze des Kegels; es mag derselbe ganz oder abgekürzt sein. Um nun aber die hieraus hervorgehenden spitzen Winkel an den Steinen zu umgehen, wird die Spitze dieses Gewölbes durch einen einzigen Stein geschlossen, welcher Anlauf genannt wird. — Greifen alle Steinschichten durch das ganze Gewölbe hindurch, so ereignet es sich zuweilen, dass die Steine zunächst des Anlaufs zu dünn ausfallen. Dies zu verhüten, lässt man auch wohl keine der Schichten ganz hindurchgehen, sondern theilt das Gewölbe der Länge nach in mehrere Abtheilungen ein; und wenn etwa die Abtheilung im grössten Umfange des Gewölbes aus 7 Steinen besteht, bekommt die zweite deren 5, die dritte 3 und die letzte einen Stein. Die verschiedenen Abtheilungen stossen stumpf zusammen. Die Lagerfugen des conischen Gewölbes hinreichend erweitert gedacht, schneiden sich in der Achse; die Stossfugen aber stehen auf der Kegelfläche normal.

Die dritte Art der einfachen Gewölbe besteht aus horizontalen, in concentrischen Kreisen rings herum laufenden Gewölbeschichten, deren Lagerfugen hinreichend erweitert gedacht,

entweder in einem, oder in verschiedenen Punkten die lothrechte Achse schneiden; sie befinden sich sonach in der Fläche eines abgekürzten Kegelmantels. Die Stossfugen hingegen liegen in Vertikalebenen, die sämmtlich in einer geraden Linie sich schneiden, nämlich in der Achse des Gewölbes.

Bei den ebenen Gewölben ist die innere Wölbungsfläche eine horizontale, oder eine beliebig geneigte Ebene. Sämmtliche Lagerfugen schneiden sich in einer oder in verschiedenen Linien, und die Häupter der Gewölbsteine bilden Trapeze, deren nicht parallele Seiten in die Ebenen der Lagerfugen fallen, von den parallelen Seiten aber die grössere nach oben zu liegen kommt.

Bei Gewölben, welche aus Theilen einfacher Gewölbe bestehen, und zusammengesetzte Gewölbe genannt werden, müssen die Gewölbsteine eben so angeordnet werden, wie es bei den Gewölben, denen diese Theile entlehnt worden sind, der Fall ist.

§. 63.

Erklärung der beim Gewölbebau eingeführten Benennungen.

1) Derjenige Theil der Umfassungsmauern eines Gewölbes, auf welche der gesammte Druck desselben sich vertheilt, heisst Widerlager. Diejenigen Mauern aber, welche von dem anschliessenden Gewölbe keinen Seitenschub erleiden, werden Stirnmauern genannt.

2) Kämpfer oder Kämpfergesims. Dasselbe ist ein kleines Gesims, durch welches das Widerlager von der innern Wölbungsfläche getrennt wird.

3) Achse des Gewölbes ist gleichbedeutend mit Achse eines stereometrischen Körpers. Bei einem symmetrischen Gewölbe auf geraden und parallelen Widerlagsmauern ist die Achse parallel mit der Richtung der Kämpferlinien, und befindet sich zwischen beiden in der Mitte.

4) Schneidet man ein Gewölbe mittelst einer Ebene, welche auf der Achse desselben normal steht, so heisst der Theil, welcher diese Ebene mit dem Gewölbe gemeinschaftlich hat, Haupt- oder Stirnfläche.

5) Die innere gewölbte Fläche eines Gewölbes wird Leibung genannt.

6) Oberbogen oder Rücken des Gewölbes heisst die äussere runde Wölbungsfläche.

7) Reissboden oder Risswand ist eine horizontale Ebene, welche entweder aus glatt gehobelten, mit einander innig verbundenen Brettern, oder auch durch einen Gypsguss, gebildet wird, worauf Musterrisse im Grossen, insbesondere die Projectionen der einzelnen Steine, die Projectionen der Stoss- und Lagerfugen, in natürlicher Grösse aufgezeichnet werden. Die Kunst, dergleichen Musterrisse in natürlicher Grösse anzufertigen, ist der wichtigste, aber auch zugleich der schwierigste Theil des Steinschnitts.

8) Zur genauen und richtigen Bearbeitung der Steine eines Gewölbes bedient der Steinmetz sich der Schablonen oder Bretter, welche aus Eisenblech bestehen, denen man nach dem Musterrisse genau die Form der den Stein begränzenden Ebenen, oder die Form der in eine Ebene gelegten Fläche giebt. Bei Gewölbsteinen unterscheidet man Hauptbrett, Leibungsbrett, Oberbogenbrett und Fugenbrett. Unter Hauptbrett versteht man die Schablone der Leibung; unter Oberbogenbrett die der obern Rundung; und endlich unter Fugenbrett die Schablone der Fuge. Die Schablone der Lagerfuge wird auch Widerlagsbrett genannt.

9) Anfänger eines Gewölbes heissen die ersten Gewölbsteine über dem Kämpfer.

10) Leibungsfuge heisst diejenige Linie, in welcher eine gewölbte Fläche von der Ebene der Lagerfuge oder Stossfuge geschnitten wird.

Von den Tonnengewölben.

§. 64.

Gewölbe, deren innere Wölbungsfläche cylindrisch ist, heissen Tonnengewölbe. Die Wölbungsfläche dieser Gewölbe geht, wie bereits erwähnt worden ist, aus der Bewegung einer geraden Linie auf zwei congruenten Curven hervor; oder auch aus der Bewegung einer Curve auf zwei parallelen horizontalen Linien. Diese erzeugende Curve wollen wir Richtungslinie der Wölbungsfläche nennen.

So verschieden die Curven sind, eben so verschieden kann

die Richtungslinie eines Tonnengewölbes sein. Entweder ist sie ein voller Halbkreis, oder ein Kreisbogenstück, das kleiner ist, als der halbe Kreisumfang; oder sie ist eine halbe Ellipse, eine Parabel u. s. w.

Ist die Richtungslinie ein voller Halbkreis, so heisst das erzeugte Gewölbe, in Vergleichung mit solchen, die nach dem Bogenstück oder nach der halben Ellipse geformt sind, Gewölbe nach dem vollen Bogen oder dem vollen Zirkel. Flach heisst das Gewölbe, wenn die Richtungslinie ein Kreisbogenstück ist; gedrückt, wenn sie eine halbe Ellipse ist, deren Höhe geringer ist, als die halbe lichte Weite. Wenn aber die Richtungslinie eine Ellipse ist, deren lichte Höhe grösser als ihre halbe lichte Weite ist, so heisst das Gewölbe überhöht. Die schönste, und der Form nach die passendste krumme Linie zu den Gewölben, die zugleich am leichtesten sich zeichnen lässt, ist unstreitig der Halbkreis. Das schöne Verhältniss zwischen den drückenden und den strebenden Theilen, wodurch hier das vollkommene Gleichgewicht so bestimmt sich ausspricht, wird in jeder andern Curve vergeblich gesucht.

Anders ist es beim Kreisbogenstück; das Verhältniss zwischen den drückenden und den strebenden Theilen ist gestört, indem der drückende Theil weit grösser hervortritt als der strebende, wodurch das ästhetische Gefühl beleidigt wird. Und in der That geht auch aus dem flachen Gewölbe ein kräftiger und mächtiger Seitenschub hervor, welcher fortwährend mit dem Widerlager im Kampf begriffen ist. Dessen ungeachtet ist sowohl in constructiver als in ästhetischer Hinsicht das flache Gewölbe dem gedrückten, welches nach der halben Ellipse, oder der Korblinie construirt ist, vorzuziehen. Die überhöhten Gewölbe haben dagegen den Vortheil, dass sie gegen ihre Widerlager nur wenig drücken; ihre Form macht jedoch eben denselben unangenehmen Eindruck, wie das gedrückte Gewölbe. Die strebende Form tritt hier zu mächtig hervor, weshalb man von diesen Gewölben nur da Gebrauch machen kann, wo die schöne Form der Solidität den Vorzug lassen muss. Die Construction der verschiedenen Curven, welche als Richtungslinien der Gewölbflächen gewählt werden können, dürfen wir nicht bei Jedem als bekannt voraussetzen.

Wir sehen uns deshalb veranlasst, hier die Construction der Ellipse, der Parabel und der aus mehreren Mittelpunkten beschriebenen Kreislinie, der sogenannten Korblinie, folgen zu lassen, weil diese am häufigsten in Anwendung kommen.

1) Construction der Ellipse.

Es sei $g\,h$ Fig. 126. eine gerade Linie von gegebener Länge, und der Punkt l sei ihre Mitte. Durch l werde die gerade Linie $l\,e$ normal auf $g\,h$ construirt und der Punkt e dieser Linie in der Art festgesetzt, dass $l\,e$ einer gegebenen Länge gleich werde. Sodann beschreibe man aus e, mit der Länge $g\,l$ als Radius, einen Kreisbogen, welcher in den Punkten c und d die gerade Linie $g\,h$ schneidet. Ueber der Linie $c\,d$ werde nun ein Dreieck $c\,a\,d$ in der Art construirt, dass die zwei Seiten $c\,a$ und $a\,d$ zusammengenommen mit $g\,h$ gleich lang werden. Zu dem Ende nehme man den Punkt m in der Linie $g\,h$ beliebig an, und mache $c\,a$ gleich $g\,m$ und $d\,a$ gleich $m\,h$; der so erhaltene Punkt a ist ein Punkt der Curve $g\,a\,e\,h$, die man eine Ellipse nennt. Auf demselben Wege findet man alle anderen Punkte dieser Curve.

Man nennt die Linie $g\,h$ die grosse Achse, $l\,e$ die halbe kleine Achse, und ihren Durchschnittspunkt l den Mittelpunkt der Ellipse. Die Punkte c und d heissen die Brennpunkte der Ellipse, und die Linien $c\,a$ und $d\,a$ zusammengehörige Brennstrahlen oder Leitstrahlen. — Eine andere Construction der Ellipse ist folgende: Es sei $c\,d$ Figur 126. *a*. die gegebene grosse Achse und $e\,f$ die kleine Achse einer Ellipse, welche construirt werden soll. Zu dem Ende werde aus dem Mittelpunkte m beider Achsen ein Kreis mit der halben kleinen Achse beschrieben. Sodann werde aus dem Mittelpunkte m die gerade Linie $m\,o$ in beliebiger Richtung construirt, welche den grössern Kreis in o, und den kleinern Kreis in n schneiden mag. Aus dem Punkte n werde nun die Linie $n\,r$ parallel $m\,d$ gezogen, so wie aus o eine andere Linie parallel zu $e\,m$; der Durchschnittspunkt r beider Linien ist ein Punkt der Ellipse. — Denn wenn man $o\,r$ bis s in $m\,d$ verlängert, so findet in Bezug auf den grössern Kreis die Proportion Statt,

$$cs : so = so : sd$$

$$\text{also } so^2 = cs \,.\, sd.$$

Da aber nr parallel md ist, wird

$$mn : mo = sr : so,$$

$$\text{oder } sr = \frac{mn \,.\, so}{mo}$$

$$= \frac{me}{md} \,.\, so,$$

$$\text{oder } sr^2 = \frac{me^2}{md^2} \,.\, cs \,.\, sd$$

$$= \frac{me^2}{md^2} (md + ms)\ (md - ms)$$

$$= \frac{me^2}{md^2} (md^2 - ms^2),$$

welches die Gleichung der Ellipse ist. Folglich ist r ein Punkt der Ellipse.

2) Construction der Parabel.

Auf der Linie cm Fig. 126. *b.* werde ca gleich aq gemacht, und cd normal auf cm construirt. Sodann werde der Punkt e in der Weise bestimmt, dass eq gleich en werde, die Linie en normal auf cd gedacht; der Punkt e ist dann ein Punkt der Parabel. Der Punkt q heisst der Brennpunkt und a der Scheitelpunkt der Parabel. Zieht man die Linie ef normal auf cm, so ist cf gleich ne, und daher auch eq gleich cf.

Es wird sonach ein Punkt e der Parabel erhalten, wenn man die Länge aq beliebig annimmt und ac gleich aq macht; wenn man ferner in einem beliebigen Punkte f die Linie fe normal auf cm construirt und qe gleich cf macht.

3) Construction der Korblinie.

Es sei in Fig. 126. *c.* die Länge am gleich mb, und mn normal auf ab. Ueber der Linie ab soll eine Korblinie beschrieben werden, deren Höhe die Linie mn ist. Zu dem Ende construire man über am das gleichseitige Dreieck adm, und nehme

in der Seite $m\,d$ den Punkt e so an, dass $m\,e$ gleich $m\,n$ werde. Sodann ziehe man $n\,e$, verlängere dieselbe bis f in der Linie $a\,d$ und ziehe $f\,h$ parallel $d\,m$, so ist $a\,g$ gleich $g\,f$ und $f\,h$ gleich $n\,h$. Aus dem Punkte h beschreibe man nun den Kreisbogen $n\,f$, und aus g das Kreisbogenstück $f\,a$, die erhaltene Curve $n\,f\,a$ ist die Hälfte der Curve, welche man Korblinie nennt. Auf demselben Wege wird die andere Hälfte dieser Curve construirt.

Andere Constructionen der aus mehreren Mittelpunkten beschriebenen Kreisbogen folgen später in §. 75. bis §. 78.

§. 65.

Die äussere obere Form eines Tonnengewölbes, welche Rücken genannt wird, kann in verschiedener Weise construirt werden, nämlich:

1) nach dem vollen Halbkreise, wie Figur 120. Taf. VII. zeigt; oder
2) nach dem Princip, welches die Figuren 122. 123. 124. 125. *B.* und 126. zeigen, wo nur der obere Theil aus einem Bogenstück besteht, der untere hingegen durch eine lothrechte Hintermauerung gebrochen wird, deren Höhe $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ von der Höhe des Gewölbes ist; oder
3) die obere Form ist geradlinigt, und nur die Seiten des Rückens sind treppenförmig gebrochen, wie Figur 127. zeigt; oder
4) der Rücken ist in den oberen und in den unteren Theilen treppenförmig gebrochen.

Die Etrusker und die Römer construirten ihre Gewölbe meistentheils nach dem vollen Halbkreise, indem sie dem Gewölbe durchweg gleiche Stärke gaben. In den frühesten Zeiten liessen sie jedoch den Rücken ziemlich unbestimmt, wie dies bei den Gewölben der Ableitung des Sees von Albano, als den ältesten, der Fall war. Nach demselben Princip war die Brücke des Fabricius zu Rom construirt; das Gewölbe derselben bestand aus zwei übereinander liegenden Gewölbebogen, von welchen der Rücken des obersten Bogens ganz unbestimmt gehalten war. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass sie die Schwierigkeiten fühlten, welche mit dem rechtwinkligen Anschluss der Gewölbesteine an

diejenigen horizontalen Steinschichten, welche durch den Bogen unterbrochen werden, verbunden sind. Diese zu umgehen, wählten sie lieber dies Princip, und liessen die Steine der horizontalen Schichten stumpf und eben so unbestimmt, wie der Rücken selbst war, gegen die Gewölbesteine stossen. Erst zur Zeit Vespasians wurde mit dem Rücken des Gewölbes eine zweckmässige Aenderung getroffen, indem man demselben die Form gab, welche Fig. 127. zeigt.

Es ist in der That nicht leicht, dem Rücken des Gewölbes eine solche Form zu geben, dass ein guter rechtwinkliger Anschluss der Gewölbsteine an die Steine der horizontalen Schichten Statt finde. Beim runden Rücken ist dies gar nicht möglich. Bei der Abtreppung in den unteren und in den oberen Theilen des Rückens ist zwar der rechtwinklige Anschluss vorhanden; die Höhen der horizontallaufenden Schichten fallen aber verschieden aus, indem sie nach oben stetig abnehmen. Bei Gewölben, welche überall gleich stark sein sollen, und die mit geraden Mauern nicht weiter in Verbindung treten, mag diese Anordnung des Rückens zwar ganz zweckmässig sein; insbesondere dann, wenn der Rücken des Gewölbes durch abschliessende Mauern dem Auge entzogen wird, und derselbe deshalb nicht weiter bearbeitet zu werden braucht.

Auch bei Gewölbebogen in solchen Mauern, die nicht aus Schnittsteinen, sondern aus Bruch- oder Mauersteinen aufgeführt werden, kann diese Treppung mit Vortheil angewendet werden, da hier die horizontalen Schichten, des aufgetragenen Putzes wegen, dem Auge nicht sichtbar bleiben. Die Treppung wird hier nicht etwa besonders bearbeitet, sondern sie bildet sich dadurch, dass der Steinmetz die eine rohe Kante des parallelepipedischen Steins unbearbeitet stehen lässt, während er die übrigen Kanten nach den Gewölbeschablonen bearbeitet.

Wenn aber die ganze Mauer von Schnittsteinen aufgeführt werden soll, so ist nur das in Fig. 127. vorgestellte Princip anzuwenden. Der Rücken der oberen Gewölbsteine bildet hier eine horizontale gerade Linie, welche soweit ausgedehnt wird, bis die Centralfugen der Keilsteine mit dieser geraden Rückenlinie allzu spitze Winkel bilden würden. Und selbst da noch, wo dies

wirklich der Fall ist, kann man die spitze Ecke durch eine lothrechte Fuge *a b* Fig. 127. brechen, wie dies an dem Bogen des Kanals geschehen ist, welcher das Wasser aus dem Wasserbecken des Springbrunnens vor dem Museum zu Berlin nach der Spree hinführt.

Um aber den anstossenden horizontalen Schichten gleiche Höhen geben zu können, ist man zuweilen gezwungen, dem Gewölbe in den untern Gewölbschenkeln eine geringere Stärke zu geben, als dies in den mittleren Theilen der Fall ist. Es ist dies aber der Solidität durchaus nicht weiter nachtheilig, vielmehr den Wirkungen des Gewölbes ganz entsprechend, da dasselbe, nach diesem Princip angeordnet, in der Gegend der Brechungsfuge die grösste Stärke bekommt.

Häufig ist in neuerer Zeit der rechtwinklige Anschluss der Gewölbsteine an die der horizontallaufenden Schichten durch Hakensteine bewerkstelligt worden, welches aber eine durchaus verwerfliche Methode ist. Dies Princip besteht darin, dass die Gewölbsteine in die anschliessenden horizontalen Schichten auf eine gewisse Länge einbinden, so dass jeder Gewölbstein eine horizontale Lagerfuge, so wie eine Centralfuge nach der Richtung des Gewölbes bekommt; was aber sowohl dem guten Geschmack, noch mehr aber einer soliden Construction entgegen ist. — Ein jedes Gewölbe erleidet eine geringe Veränderung seiner Form, wenn die Rüsthölzer, auf denen es erbaut worden ist, hinweggenommen werden; es entsteht alsdann eine geringe Bewegung, bis Alles hinlänglich sich gesetzt hat. Hakensteine verhindern aber diese Bewegung; sie verhindern das feste Ineinanderdringen der Keilsteine, und es wird deshalb aus den Wirkungen des Gewölbes ein Bestreben hervorgehen, die Haken an den Steinen abzubrechen. Aus diesem Grunde sind Hakensteine verwerflich, und nur in den untern Gewölbschenkeln, welche die Bewegungen des Gewölbes nicht mehr theilen, möchten sie allenfalls zulässig sein.

§. 66.

Den mathematischen Principien folgerecht, muss die Anzahl der Gewölbsteine im Querschnitt des Tonnengewölbes ungerade sein, damit die Mitte des Gewölbes von einem Schlussstein ein-

genommen werde. Eine Fuge in der Mitte des Gewölbes anzubringen, wie dies bei einer geraden Anzahl von Steinen der Fall ist, würde fehlerhaft sein, da hieraus ein zu grosser Schub gegen das Widerlager hervorgehen würde. Diese fehlerhafte Anordnung findet man häufig, von Serlio z. B. überall in seinen Zeichnungen der Gewölbebogen, angegeben.

Die Gewölbsteine werden keilartig in oblonger Form bearbeitet, eine quadrate Form erzeugt Schwere des Characters. Das beste Verhältniss der mittlern Breite zur Höhe ist 2 : 3, auch 1 : 2; mitunter ist dasselbe sogar 1 : 3. Dies Verhältniss der Breite zur Höhe gilt jedoch nur für Gewölbebogen, deren Stirnfläche äusserlich mit den Details des Bauwerkes in Berührung kommt, und deshalb mit diesen in Einklang gebracht werden muss. Wenn aber die Stirnfläche eines Gewölbebogens äusserlich nicht zu sehen ist, wie dies bei solchen Tonnengewölben der Fall ist, welche im Innern der Gebäude vorkommen, und hier zwischen einschliessenden Mauern sich befinden: da wird es zweckmässig sein, die Breite der Steine grösser als die Höhe zu nehmen, weil an Baukosten alsdann bedeutend erspart wird, da breitere Steine weniger Lagerfugen erfordern als die schmäleren Steine. Es muss hierbei jedoch noch berücksichtigt werden, ob das Gewölbe einen kleineren oder einen grösseren Raum überspannen soll. Im ersteren Falle kann man ohne Bedenken die Breite grösser als die Höhe nehmen. Bei sehr grossen Gewölben darf dies aber nicht geschehen, indem sonst die Festigkeit der Steine sehr leicht geringer ausfallen möchte, als es die Spannung des Gewölbes erfordert.

§. 67.

Sämmtliche Lagerfugen eines Gewölbes, dessen Richtungslinie ein Halbkreis ist, erhalten eine centrale Richtung. Dies ist am leichtesten in der Ausführung, und giebt die würdigste Form. Bei einer elliptischen Richtungslinie aber schneiden sich die Lagerfugen verlängert nicht im Mittelpunkte der Achse, indem jede Fuge eine andere Richtung hat, nämlich die Richtung der Normale für den Punkt der Curve, in welchem diese von der Fuge geschnitten wird.

Diese Richtung wird z. B. für den Punkt *a* Fig. 125. *B* und

Fig. 126. Taf. VII. erhalten, indem man zunächst erst die beiden Brennpunkte c und d der Ellipse ermittelt. Zu dem Ende wird aus dem Punkte e ein Kreisbogen beschrieben, dessen Radius gleich $g\,l$ ist; die Durchschnittspunkte c und d dieses Kreisbogens mit der geraden Linie $g\,h$ geben die beiden Brennpunkte. Die Richtung der Normale für den Punkt a wird nun erhalten, wenn man die geraden Linien $a\,c$ und $a\,d$ zieht, sodann den Winkel $c\,a\,d$ durch die Linie $a\,f$ halbirt: so ist $f\,a$ die Richtung der Normale, und $a\,b$ die Richtung der Lagerfuge für den Punkt a. Für jeden andern Punkt der Kurve muss die Richtung der Lagerfuge in gleicher Weise ermittelt werden. Ist der Gewölbebogen parabolisch, wie Fig. 134. Taf. VIII. zeigt, wo zwei Parabeln im Punkte v sich schneiden, deren Scheitelpunkte in den Punkten a und w sich befinden, so erhält man die Richtung der Fuge $e\,u$, wenn man $e\,d$ normal auf $a\,w$ zieht, sodann $a\,n$ gleich $a\,d$ macht, die Linie $n\,e$ denkt, und auf dieser in e die Normale $e\,u$ construirt; diese Linie ist alsdann die Richtung der Fuge für den Punkt e. Denn es ist zufolge der Construction $n\,e$ die Richtung der Kurventangente für den Punkt e, und deshalb die Linie $e\,u$, welche auf $n\,e$ normal construirt wurde, die Richtung der Normale des Punktes e.

Da bei der Parabel die Normale den Winkel halbirt, welchen zugehörige Brennstrahlen mit einander bilden, so findet man die Richtung der Fuge für den Punkt o etwa auch noch in der Weise, dass man den Brennpunkt m der Parabel mit o durch eine gerade Linie verbindet und die Linie $o\,r$ parallel mit $a\,w$ zieht, sodann aus dem Punkte o mit einem beliebigen Radius einen Kreisbogen zwischen den zugehörigen Brennstrahlen beschreibt, und diesen im Punkte s halbirt; die Richtung $s\,o$ ist dann die Richtung der Fuge $o\,t$.

Ist die Richtungslinie des Gewölbes irgend eine andere Kurve, so erhält man für jeden beliebigen Punkt e derselben die Richtung der Lagerfuge stets in der Richtung der Normale dieses Punktes.

§. 68.

Obgleich die in §. 67. beschriebene Anordnung der Lagerfugen die zweckmässigste ist, so hat man doch in neuerer Zeit

für gut befunden, in manchen Fällen den unteren Lagerfugen bis auf eine Höhe von 30 bis 36 Grad, vom Kämpfer an gerechnet, eine horizontale Richtung zu geben. In der Fig. 124. Taf. VII. haben wir dies Princip dargestellt. Die Richtung der vier unteren Lagerfugen trifft nicht den Mittelpunkt des Gewölbes, denn die Ebenen dieser Lagerfugen sind horizontal. Um jedoch aber die spitzen Winkel zu vermeiden, unter welchen die Wölbungsfläche von diesen horizontalen Lagerfugen geschnitten wird, sind dieselben hier in einer Richtung gebrochen worden, welche auf der Wölbungsfläche normal steht. Man glaubt nun, dass durch diese Anordnung der Schub des Gewölbes gegen die Widerlager bedeutend vermindert werde, da die unteren zur Ruhe gebrachten Gewölbemassen nur einen lothrechten Druck ausüben könnten, welcher der Stabilität des Widerlagers zu Hülfe komme, indem der ganze untere Theil des Gewölbes als Fortsetzung des Widerlagers angesehen werden müsse. Allein die Sache verhält sich ganz anders; die angegebenen Gründe sind nur Scheingründe. Es ist zwar ganz richtig, dass durch diese Anordnung ein grösser Theil der Masse des Gewölbes zur Ruhe gebracht wird; allein es wird auch hierdurch den oberen Gewölbetheilen Gelegenheit gegeben, auf die allernachtheiligste Weise auf das Widerlager einwirken zu können. Man bedenke nur, dass wenn eine Kraft A in irgend einem Punkte a, nach lothrechter Richtung auf Bewegung eines Systems wirkt, dass alsdann die Componenten der A, welche im Punkte a angreifen, und mit der Richtung der A die Winkel α und β bilden, die eine $= \frac{A \operatorname{Sin} \alpha}{\operatorname{Sin}(\alpha+\beta)}$, die andere $= \frac{A \operatorname{Sin} \beta}{\operatorname{Sin}(\alpha+\beta)}$ ist, und dass diese Ausdrücke um so grösser werden, je grösser die Winkel α und β gedacht werden; dass sie sogar unendlich gross ausfallen, sobald $\alpha = \beta = 90$ Grad ist, wie klein auch die Kraft A gedacht werden mag. Hieraus folgt nun, dass die Grösse der Componenten weniger abhängig ist von der Menge der Gewichtseinheiten der Kraft A, als vielmehr von der Grösse der Winkel, welche die Componenten mit der Richtung von A bilden. Woraus ferner folgt, dass ein flaches Gewölbe weit nachtheiliger auf die Widerlager einwirken muss, als das in vollem Bogen construirte Ge-

wölbe. Da nun aber der untere Theil des Gewölbes, welcher im Bereich der horizontalen Lagerfugen sich befindet, und hier nach der Kreisbogenlinie construirt ist, ganz füglich lothrecht gedacht werden kann, ohne das Princip zu verändern, so ist einleuchtend, dass hierdurch das in vollem Bogen construirte Gewölbe in ein flaches Gewölbe verwandelt wird.

Dies sind meine Gründe gegen dies Princip der Gewölbeconstruction.

§. 69.

Bei den grösseren antiken Tonnengewölben von etwa 25 Fuss bis etwas über 100 Fuss Spannweite, ist die Stärke des Gewölbes im Scheitel $\frac{1}{20}$ der lichten Weite, die Stärke der Widerlagsmauern aber $3\frac{1}{2}$ bis 4 mal grösser, mithin $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{5}$ der lichten Weite. Die Höhe der Widerlagsmauern überschreitet hier nie die anderthalbmalige lichte Weite des Gewölbes, was für alle Gewölbe gilt. Perronet giebt zur Bestimmung der Stärke des Gewölbes im Scheitel die practische Regel: wenn w die lichte Weite bezeichnet und h die Höhe des Schlusssteins, so ist h gleich $\frac{w}{24}$ zu nehmen, jedoch nur bei Gewölben, deren lichte Weite grösser als 70 Fuss ist. Aber bei Weiten unter 70 Fuss soll h gleich $\frac{5}{144} \cdot w + 1$ Fuss gemacht werden. Diese Regel gilt jedoch nur für Brückengewölbe, welche aus Schnittsteinen construirt werden.

Ein in vollem Bogen construirtes Tonnengewölbe von 30 Fuss Spannweite würde hiernach 6 Fuss starke Widerlager erfordern, und im Scheitel $1\frac{1}{2}$ Fuss stark sein müssen. Sollte dies Gewölbe aber als Ueberbrückung dienen, so würden die Widerlager $\frac{1}{4}$ der lichten Weite des Gewölbes, also $7\frac{1}{2}$ Fuss stark sein müssen, und die Stärke des Gewölbes im Scheitel

$$= \frac{5}{144} \cdot 30 + 1 \text{ Fuss}$$
$$= 2 \text{ Fuss betragen.}$$

Ueberhöhte Gewölbe, welche weniger schieben, erfordern zur Stärke der Widerlager nur $\frac{1}{8}$ der Spannweite; gedrückte Gewölbe

bedürfen dagegen $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Spannweite zur Stärke der Widerlager.

Bemerkenswerth ist hier noch, dass die Römer ihre Gewölbe häufig aus mehreren über einander gelegten Bogen construirten, von denen keiner mit dem andern weiter verbunden wurde. Es geschah dies da, wo die Stärke des Gewölbes aus Einem Bogen construirt sehr lange Steine erfordert haben würde. Nach diesem Princip war die Brücke des Fabricius zu Rom mit zwei Bogen übereinander, so wie das Gewölbe an der Ausmündung der Cloaca maxima ebendaselbst mit 3 Bogen übereinander angeordnet.

§. 70.

Wird der Rücken eines Gewölbes nicht geradlinigt gebrochen, sondern im oberen mittleren Theile nach einer krummen Linie construirt, und wird die durch Fortsetzung der Widerlager gebildete Hintermauerung bis dahin fortgeführt, wo der obere Bogen des Gewölbes von der inneren senkrechten Seite des Widerlagers geschnitten wird, so erhält man diese krumme Linie in folgender Weise: Man setze nach den in §. 69. angegebenen Principien die Höhe $a\ y$ Fig. 124. fest, welche das Gewölbe in seinem Schlusse zur Stärke erhalten muss. Sodann verlängere man bei einer kreisförmigen Richtungslinie des Gewölbes sämmtliche Lagerfugen bis zum Mittelpunkte o der Richtungslinie, trage die Stärke $a\ y$ des Gewölbes im Scheitel zwischen die Verlängerungen der Fugen des Schlusssteins auf eine gerade Linie $g\ n$, welche normal auf der Mittellinie $o\ a$ steht, verlängere diese so weit, dass die Verlängerungen der oberen Lagerfugen von ihr geschnitten werden: alsdann sind die Theile dieser Linie, welche zwischen den verschiedenen Radien liegen, die mittleren Dicken der übrigen Gewölbsteine. Das heisst, wenn die Länge $g\ h$ der halben mittleren Dicke des Schlusssteins gleich gemacht worden ist, so stellt die Länge $h\ i$ die mittlere Dicke desjenigen Steins vor, welcher zur Seite des Schlusssteins sich befindet, $i\ k$ die mittlere Dicke des folgenden Steins u. s. w., also $cd = hi$, $ef = ik$, $pq = kl$, $rs = lm$ und $tu = mn$. Ziemlich übereinstimmend hiermit wird der obere Bogen $v\ w$ Fig. 124. auch erhalten, wenn man auf der Verlängerung der Mittellinie $a\ o$ die Länge

$oz = \frac{1}{2}ao$ macht, und aus dem Punkte z, mit der Länge zy als Radius, den Bogen wyv beschreibt. — Ist die Richtungslinie des Gewölbes ein Spitzbogen, gebildet aus zweien sich schneidenden Kreisen, wie Fig. 129. zeigt, so ist die Bestimmung der mittleren Dicke von den einzelnen Gewölbsteinen dieselbe Es werden nämlich aus dem Mittelpunkte o des einen Kreisbogens die Radien nach den oberen Lagerfugen gezogen; sodann wird eine gerade Linie bi normal auf oa in der Art construirt, dass die Länge bc der halben mittleren Dicke des Schlusssteins gleich wird: die Längen cd, de, ef, fg und gi stellen dann die mittleren Dicken der zugehörigen Steine vor.

Hiermit übereinstimmend wird der obere Bogen vw Fig. 129. auch erhalten, wenn man auf der Verlängerung von ao die Länge $oz = \frac{1}{2}ao$ nimmt, und aus dem Punkte z, mit der Länge zv als Radius, den Kreisbogen vw beschreibt.

Ist die Richtungslinie des Gewölbes eine Ellipse, wie Figur 126. zeigt, so wird der Oberbogen vw erhalten, wenn man zunächst erst den Mittelpunkt o des Krümmungskreises für den Scheitelpunkt e ermittelt, dann $oz = \frac{1}{2}oe$ macht, und aus dem Punkte z den Oberbogen vw beschreibt.

§. 71.

In der einfachsten Form erscheint das Tonnengewölbe als Bogen, welcher in einer Mauer sich befindet. Dieserhalb sollen die verschiedenen Formen der Bogen, hervorgegangen aus veränderter Lage und Richtung derselben gegen die Mauer, so wie aus veränderter Form und Richtung der Mauer, hier zunächst behandelt werden.

Wir müssen jedoch noch bevorworten, dass in den Zeichnungen dieser Bogen, so wie in den Zeichnungen aller übrigen Gewölbe, die in §. 66. vorgeschriebene Form der Gewölbesteine, so wie die in §. 69. gegebenen Bestimmungen über die Stärke des Gewölbes und deren Widerlager, nicht streng beibehalten werden konnten, weil sonst die Zeichnungen von den einzelnen Steinen zu klein geworden wären.

Nochmals machen wir den geehrten Leser darauf aufmerksam, dass wenn wir hier von einem Punkte a im Raum reden, der Buchstab a in der Figur vergeblich gesucht wird; da die

geometrischen Figuren nur die Projectionen der Punkte im Raum vorstellen, die wir in Bezug auf den Punkt *a* hier mit *a'*, *a''* und *a'''* bezeichnen. Unter *a'* die erste Projection verstanden, unter *a''* die zweite Projection, und unter *a'''* die dritte Projection. Einen in die erste Projectionsebene herabgeschlagenen Punkt *a* bezeichnen wir mit (*a*).

§. 72.

Die verschiedenen Formen cylindrischer Bogen gehen am schicklichsten hervor, wenn man einen halben Cylinder denkt, über welchem nach Fig. 120., Fig. 121. und Fig. 130. Taf. VII. die Gewölbsteine entweder in normaler, oder in schräger Richtung, oder auch in beliebig krummer Richtung zur Bildung des Bogens mit einander verbunden werden. Die Figur 120 stellt die zweite Projection oder den Aufriss von den Häuptern der vier verschiedenen Gewölbebogen vor, welche die Figur 121 im Grundriss, und Fig. 130. in der perspectivischen Ansicht, von oben angesehen, darstellen. In Fig. 121. ist A' die erste Projection oder der Grundriss von einem Bogen, welcher gegen die Achse des Cylinders eine normale Richtung hat. Diese Figur wird erhalten, indem man die Projection von jedem Gewölbstein bildet. Zu dem Ende projicire man die Punkte *b''*, *d''*, *k''*, *l''*, *m''*, *n''*, *o''*, *i''* in Fig. 120. nach *b'*, *d'*, *k'*, *l'*, *m'*, *n'*, *o'* und *i'* in Fig. 121 A', ziehe aus diesen Punkten die Linien *b'* h', *d' g'* u. s. w. parallel mit der Achse des Cylinders, und mache jede gleich der Länge des Bogens. Hiermit erhält man die erste Projection vom Rücken des Bogens.

Die Projection der inneren Wölbungsfläche zu bilden, verfährt man in gleicher Weise. In (A) ist die Abwickelung dieses Bogens dargestellt. Diese wird erhalten, wenn man den äussersten Halbkreis des Bogens auf die gerade Linie (*b*) (*i*) abträgt, und diese in so viel gleicher Theile theilt, als der Bogen Gewölbsteine hat. Hierdurch werden die Punkte (*d*), (*k*), (*l*), (*m*), (*n*), (*o*), erhalten. Auf die Linie (*b*), (*d*) trage man dann die Länge der inneren Wölbung vom Anfänger in der Art, dass die Mitten beider Längen zusammentreffen. Dies gebe (*a*)(*c*) = *a''* *c''* Dies Verfahren wiederhole man bei allen übrigen Steinen, ziehe sodann (*b*) (*k*) normal auf (*b*) (*i*), und mache

diese Linie mit b' *h'* gleich lang, ziehe durch (*h*) eine Parallele mit (b) (*i*), und aus allen Theilpunkten der Linie (b) (*i*) Parallelen mit (b) (*h*): so erhält man hiermit die Abwickelung des normalen Gewölbebogens, denselben von unten angesehen.

Die Figur *B'* stellt die erste Projection eines Bogens vor, dessen Richtung gegen die Achse geneigt ist, und die zugleich in der Mitte entgegengesetzt gebrochen ist. Die Abwickelung dieses Bogens ist in Figur (*B*) gegeben.

In den Figuren *C'* und *D'* sind die Projectionen solcher Bogen gegeben, deren Richtung nach einem Kreisstück angeordnet ist. (*C*) und (*D*) zeigen die Abwickelungen der Gewölbsteine dieser Bogen. Die Figuren *B'*, *C'* und *D'* zu erhalten, bedarf keiner weiteren Beschreibung, man verfährt hier eben so, wie bei A' gezeigt worden ist. Die Abwickelungen Figur (B) (C) und (D) werden zwar auf einem ähnlichen Wege wie die Figur (A) erhalten, wir ziehen jedoch vor, die Beschreibung von Figur (D) hier folgen zu lassen.

Man betrachte die auf die Achse des Cylinders normal gezogene Linie b' *x'* als die erste Projection vom Rücken eines normalen Bogens, trage dessen Länge auf die gerade Linie (b) (*x*) Fig. (D), und theile diese nach der Anzahl der Gewölbsteine des Bogens in gleiche Theile. Ist (b) (*p*) einer von diesen Theilen, so trage man auf die Mitte desselben die Länge der inneren Wölbung des Anfängers, wodurch die Punkte (q) und (*r*) erhalten werden. Errichte sodann in diesen Punkten Normalen auf der Linie (b) (x), und mache (b) (*h*) = b' *h'*, (q) (*a*) = q' *a'*, (q) (*f*) = q' *f'*, (*r*) (*c*) = *r'* *c'*, (*r*) (*e*) = *r'* *e'*, (*p*) (*d*) = *p'* *d'* und (*p*) (*g*) = *p'* *g'*; verbinde sodann die einander entsprechenden Punkte durch gerade oder krumme Linien, je nachdem die Form des Steins es bedingt, so erhält man in der Figur (b) (*h*) (*g*) (*d*) (*a*) (*f*) (*e*) (*c*) die geometrische Form des Anfängers, denselben in umgekehrter Lage gedacht. Ganz in derselben Weise verfährt man bei der Verzeichnung der übrigen Gewölbsteine.

§. 73.

Die halbe Kreisperipherie auf einer geraden Linie abzutragen, geschieht, wenn man den Radius des Kreises dreimal auf derselben abträgt, und dieser Länge nach den 10ten Theil von

der Sehne des Kreisquadranten hinzufügt. Denn bezeichnet r den Radius des Kreises, so ist die Sehne des Quadranten $= r\sqrt{2} = r.1{,}4142$, mithin $\frac{1}{10}$ von dieser Länge $= r.0{,}14142$, und die Länge des ausgetragenen Halbkreises $= 3r + r.0{,}14142 = r.3{,}14142\ldots$; wogegen die wirkliche Länge $= r.3{,}14159\ldots$ ist.

Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dass wir einige andere Constructionen besitzen, nach welchen man die Austragung der Kreislinie genauer erhält, als durch die vorstehende Construction; dieselben sind aber meistentheils so zusammengesetzter Natur, dass sie vom Techniker nicht wohl ausgeführt werden können.

§. 74.

Die Stirnfläche oder das Haupt eines Gewölbebogens wird entweder nach Fig. 120. als halbkreisförmig concentrisches Ringstück angeordnet, oder in der Form, welche Fig. 122. zeigt, wo alle Lagerfugen des Gewölbes gleich lang, und die unteren Gewölbschenkel hintermauert sind, oder endlich nach Fig. 123. und Fig. 124., wo die obere Bogenlinie $v\,w$ eine excentrische Lage gegen die innere Bogenlinie hat, und deshalb die Lagerfugen des Gewölbes von oben nach unten stetig zunehmen. Die Figuren 123. und 124. repräsentiren zwar einerlei System, da der Rücken $v\,y\,w$ in der einen Figur construirt worden ist, wie in der anderen; sie unterscheiden sich aber darin, dass die eine durchweg im Gewölbe centrale Lagerfugen hat, die andere aber nur in dem oberen Gewölbetheil Centralfugen, in dem unteren aber horizontale Lagerfugen hat. Die Hintermauerung, welche keinem Gewölbe von Bedeutung fehlen darf, ist hier als Fortsetzung der Widerlager behandelt, und die Höhe derselben durch den Punkt bestimmt worden, in welchem die verlängerte innere Seite des Widerlagers den Oberbogen $v\,w$ durchschneidet.

Das Haupt eines Spitzbogens wird entweder nach Fig. 129. angeordnet, wo die inneren Kreisbogen aus den Kämpferpunkten o und h beschrieben sind, oder nach Fig. 128., wo diese Mittelpunkte mehr nach der Mitte des Gewölbebogens hin sich befinden, und dieser Spitzbogen deshalb eine geringere Höhe besitzt, als der in Fig. 129. vorgestellte. Die Hintermauerung des Gewölbebo-

gens ist hier in derselben Weise festgesetzt, wie dies bei den in vollem Bogen construirten Häuptern vorhin gezeigt wurde.

Ist die Richtungslinie des Gewölbebogens eine Ellipse, so geschieht die Anordnung des Hauptes entweder nach Fig. 125 *B.* oder nach Fig. 126. Das in Fig. 125 *B.* vorgestellte Haupt ist nach der überhöhten Ellipse construirt; das in Fig. 126. vorgestellte aber nach der gedrückten Ellipse. Jenes giebt den überhöhten elliptischen Gewölbebogen, dieses den gedrückten elliptischen Gewölbebogen.

Die Figur 127. zeigt die Anordnung des Hauptes eines in vollem Bogen construirten Gewölbes mit geradem Rücken. In dieser Art wird das Haupt construirt, wenn der Gewölbebogen durch eine gerade Mauer geht, wo der runde Rücken keinen guten Anschluss gestattet; oder wenn derselbe äusserlich mit den Details des Bauwerkes in Berührung kommt, wo durch den runden Oberbogen eine Störung veranlasst würde. Da in diesem Falle der Gewölbebogen in der Regel durch hohe Mauern sehr belastet wird, so muss das Gewölbe in seinem oberen Theile bedeutend stärker construirt werden, als die in §. 69. gegebenen Normen vorschreiben.

Die Figur 125. A. zeigt die Anordnung des Hauptes mit geradem Rücken, wenn der Gewölbebogen nach der überhöhten Ellipse construirt wird. Bei dem Gewölbebogen mit geradem Rücken findet die Art und Weise, wie der rechtwinklige Anschluss der Gewölbsteine an diejenigen horizontalen Steinschichten, welche durch den Bogen unterbrochen werden, bewirkt wird, immer seine Schwierigkeiten. Denn eines Theils müssen die Gewölbsteine der Festigkeit wegen eine gewisse Höhe haben, von welcher nicht abgegangen werden darf; anderen Theils müssen aber auch die Höhen der horizontalen Steinschichten der Symmetrie wegen gleich gross sein. Die Figuren 131, 132 und 133 Tafel VIII. zeigen verschiedene Manieren, wie der rechtwinklige Anschluss des Gewölbes an die horizontalen Schichten der Mauer bewirkt werden könne.

§. 75.

Fig. 135. Taf. VIII. stellt das Haupt eines steigenden Bogens vor, dessen Richtungslinie eine aus den 3 Mittelpunkten *m*,

n und *o* beschriebene Korblinie ist. Man wendet den steigenden Bogen vorzüglich zur Unterwölbung der abhängigen Theile eines Bauwerkes an, wie z. B. der Treppen, der Dächer, geschleifter Schornsteinröhren u. d. g. Auch werden sie bei den Strebebogen angewendet, welche an den Widerlagspunkten hoher Gewölbe als Gegenstreben dienen sollen.

Der Rücken des steigenden Bogens ist entweder gekrümmt, oder geradlinigt, oder auch geradlinigt treppenförmig gebrochen, wie Fig. 135. zeigt. In dieser letzteren Manier muss der Rükken stets gehalten werden, wenn der steigende Bogen zur Unterwölbung massiver Treppen dienen soll. Die Richtungslinie des steigenden Bogens ist entweder eine aus mehreren Punkten beschriebene Korblinie, oder sie ist eine Ellipse. Da die Richtung der Lagerfugen des Gewölbes auf der inneren Wölbungsfläche normal stehen muss, wird dieselbe beim Korbbogen durch den zugehörigen Mittelpunkt gehen; bei der Ellipse aber mit der Richtung der Normale zusammenfallen müssen. Aus diesem Grunde geht die Richtung der Fugen des Bogens *ab* Fig. 135. durch den Mittelpunkt *m* desselben; die Richtung der Fugen des Bogens *bc*, durch den Punkt *n*; und endlich die Richtung der Fugen des Bogens *cd*, durch den Punkt *o*.

Die Construction zur Feststellung der 3 Mittelpunkte *m*, *n* und *o* haben wir in Fig. 136 ausgeführt. In dieser Figur bezeichnet *du* die gegebene lichte Weite des steigenden Bogens, *au* die Steigung und *da* die steigende Linie. Die Aufgabe geht nun dahin, in dem schiefwinkligen Parallelogramm *adef*, dessen Höhe durch die vorgeschriebene lichte Höhe des steigenden Bogens gegeben ist, eine Kurve zu construiren, zu welcher die eine Seite des Parallelogramms eine Sehne, die drei anderen aber Tangenten sind. Zu dem Ende mache man $ec = ed$, ziehe *cs* normal auf *ef*, nehme in dieser Linie den Punkt *n* beliebig an, und beschreibe aus demselben mit *nc* den Kreis *bcqsvw*. Durch den Punkt *a* ziehe man ferner die Sehne *vq* normal auf *au*, mache $al = av$, so wie $ag = aw$, und *ah* gleich der Differenz *cs* weniger *ql*. Hierauf verlängere man *au* so weit, bis diese Linie in *r* die Kreisperipherie schneidet, ziehe $ri \mp hg$, mache $am = ai$, und ziehe die gerade Linie *nmb*: so ist *m* der Mittel-

punkt des Bogens ab, n der des Bogens bc, und der Durchschnittspunkt o der Linien du und cs der Mittelpunkt des Bogens cd. Denn wenn man noch die Linie eo denkt, so ist das Dreieck deo congruent dem Dreieck eco, weil $ec = ed$ gemacht worden ist; daher $oc = od$. Zufolge der Construction ist aber $nb = nc$ und $ma = mb$; daher die Richtigkeit der Construction.

§. 76.

Fig. 137. zeigt die Construction eines steigenden Bogens, welcher aus vier verschiedenen Punkten m, n, o, p construirt ist. Hierbei ist vorausgesetzt worden, dass die Steigung $ua = \frac{1}{2}du$ sei, wenn du die lichte Weite des Bogens bezeichnet. Die vier Mittelpunkte m, n, o, p zu erhalten, mache man $up = \frac{1}{4}au$, und construire das Rechteck $ampu$. Sodann beschreibe man über pm einen Halbkreis und construire in demselben das halbe reguläre Sechseck $ponm$, so sind die Eckpunkte desselben die vier Mittelpunkte, aus denen die Korblinie construirt werden kann. Die Construction der Korblinie beginnt nun damit, dass man die Linien po, on und nm beliebig verlängert, aus dem Punkte p mit pd den Kreisbogen de beschreibt, aus o mit oe den Bogen ec, aus n mit nc den Bogen cb, und endlich aus m mit mb den Kreisbogen ba beschreibt.

Der Construction zufolge ist

$$\begin{aligned} mb &= nc - nm \\ &= oe - (on + nm) \\ &= pe - (po + on + nm) \\ &= ud - (po + on + nm + ma) \\ &= ud - \tfrac{7}{8}ud \\ &= \tfrac{1}{8}ud \\ &= \tfrac{1}{4}au; \end{aligned}$$

eben so gross war aber auch ma angenommen worden, und daher $mb = ma$. Dies für die Richtigkeit der Construction. — Wir hatten hier vorausgesetzt, dass $au = \frac{1}{2}du$ sei, indem dies bei grossen massiven Freitreppen in der Regel der Fall ist. Wenn nun aber das Verhältniss von au zu du anders ist, so mache man die Länge $pu = \frac{1}{2}du - \frac{3}{4}au$, und construire alsdann wie oben.

§. 77.

Einen steigenden Bogen nach Art der Korblinie aus zwei Mittelpunkten beschrieben, zeigt Fig. 138. Die Linie cf bezeich-

net die lichte Weite des steigenden Bogens, fa die Steigung desselben, und die Punkte m und n die Mittelpunkte der Kreisbogen ab und bc. Die hier gegebene Construction des steigenden Bogens setzt aber voraus, dass es verstattet sei, die lichte Höhe des Bogens in der Art festzustellen, dass $ad = \frac{1}{2}ac$ werde; denn die Punkte m und n werden erhalten, wenn man $ad = \frac{1}{2}ac$ macht, und das schiefwinklige Parallelogramm $adec$ bildet; wenn man sodann die Linie de in b halbirt, bn normal auf de construirt und $am \mp fc$ zieht: so ist der Durchschnittspunkt m der Linien bn und am der Mittelpunkt des Bogenstücks ab, und der Durchschnittspunkt n der Linien bn und cf der Mittelpunkt vom Bogen bc.

Die Richtigkeit der Construction leuchtet ein, wenn die Linien dm und en gedacht werden. Es ist dann das Dreieck amd congruent dem Dreieck dmb, und das Dreieck enc congruent dem Dreieck enb; daher $ma = mb$ und $bn = cn$.

§. 78.

Soll die Richtungslinie eines steigenden Bogens eine Ellipse sein, und ist od Fig. 139. die lichte Weite, oa die Steigung, da die steigende Linie und $adqp$ das schiefwinklige Parallelogramm, dessen Höhe durch die lichte Höhe des steigenden Bogens gegeben ist, so lautet die Aufgabe: eine Ellipse zu construiren, zu welcher die Seiten dq, pq und pa Tangenten sind. Oder, von einer Ellipse sind zwei conjugirte Durchmesser der Grösse und Lage nach gegeben, man sucht die beiden Hauptachsen. Die steigende Linie da ist der eine Durchmesser, und die Linie mc parallel dq gedacht ist die Hälfte des zugehörigen andern Durchmessers der Ellipse.

Diese Aufgabe zu lösen, ziehe man cg normal auf da, und mache ihre Verlängerung ch gleich dm. Man verbinde sodann die Punkte m und h durch eine gerade Linie, halbire diese in k, ziehe kl normal auf mh, und aus ihrem Durchschnittspunkte l mit der Linie qp beschreibe man einen Halbkreis, welcher lm zum Radius hat. Die Punkte f und u, in welchen die Linie qp von diesem Halbkreise geschnitten wird, verbinde man mit h durch gerade Linien, beschreibe aus h als Mittelpunkt, mit der Länge hc als Radius, den Kreisbogen rs, ziehe die geraden

Linien mf und mu, so sind diese letzteren in m normal auf einander und geben die Richtungen der beiden Hauptachsen der Ellipse. Endlich ziehe man die Linien sb und re parallel mit hm, so sind ihre Durchschnittspunkte b und e mit den Linien mf und mu zwei Punkte der Ellipse, und es ist mb die halbe grosse Achse und me die halbe kleine Achse.

Die Richtigkeit der Construction zu beweisen, ziehe man st und bv parallel mit qf, so ist die Fig. $bstv$ ein Parallelogramm. Denn es ist zufolge der Construction

1) $mv : mc = mb : mf$,
2) $ht : hc = hs : hf$,
3) $mb : mf = hs : hf$,

folglich 4) $mv : mc = ht : hc$,

und deshalb ist tv parallel mit hm.

Es war aber sb ebenfalls parallel mit hm, und st parallel mit bv, folglich ist $bstv$ ein Parallelogramm, in welchem $ts = vb$ ist.

Es ist ferner

$$\begin{aligned} ts^2 &= hs^2 - ht^2 \\ &= hc^2 - ht^2 \\ &= ma^2 - ht^2, \end{aligned}$$

und aus der Proportion 4)

$$\text{ist } ht = \frac{mv \cdot hc}{mc} = \frac{mv \cdot ma}{mc};$$

$$\text{daher } ts^2 = ma^2 - \frac{mv^2 \cdot ma^2}{mc^2}.$$

Bezeichnet man nun die Länge bv mit y und mv mit x, so ist

$$y^2 = \frac{ma^2}{mc^2}(mc^2 - x^2),$$

welches die Gleichung der Ellipse ist.

§. 79.

Wenn dg Fig. 140. die lichte Weite eines steigenden Bogens bezeichnet, ga dessen Steigung, und da die steigende Linie desselben: so wird eine sehr gefällige Form der Richtungslinie

und E durch gerade Linien. Die hervorgehende Figur stellt den Stein von oben angesehen vor. Fig. 147. stellt den Stein zur Seite des Schlusssteins vor. Die Construction dieser Figur beginnt damit, das Haupt $\mu\,\pi\,\varphi\,o\,g$ so zu zeichnen, wie die Fig. 142. dasselbe zeigt. Zu dem Ende mache man Winkel L B π Fig. 147. gleich Winkel L'' $f^0\,\pi''$ Fig. 142, Winkel π B o gleich Winkel $\pi''\,f^0\,o''$, und construire aus B mit $f^0\,f''$, dem Radius des Gewölbebogens, den Kreisbogen $\mu\,g$. Sodann werde $g\,o$ gleich $g''\,o''$, $\mu\,\pi$ gleich $\mu''\,\pi''$ gemacht, aus dem Punkte o die Linie $o\,\varphi$ parallel B L und aus dem Punkte π die Linie $\pi\,\varphi$ normal auf $o\,\varphi$ gezogen.

Nachdem in dieser Weise das Haupt construirt worden ist, ziehe man die Linie B A normal auf B L in der schiefen Projection, und zwar nach unten, um die untere Ansicht des Steins zu erhalten. Ziehe ferner parallel mit A B die Linien $\mu\,\varrho$, $g\,\varkappa$ und $o\,\alpha$, mache jede derselben, so wie auch A B gleich lang mit $f'\,y'$ Fig. 144, beschreibe aus dem Punkte A den Kreisbogen $\varrho\,\varkappa$ und verbinde die Punkte α und $\varkappa$ durch eine gerade Linie. Die hervorgehende Figur $\alpha\,\varkappa\,\varrho\,\mu\,\pi\,\varphi\,o\,g$ stellt den Stein von unten angesehen vor. Die Figur 148. zeigt den Schlussstein von unten angesehen. Man erhält diese Figur, wenn man construirt wie beim vorigen Stein. Es werden nämlich aus den beiden Mittelpunkten A und B die beiden Häupter des Steins nach Fig. 142. construirt. Dann werden die zusammengehörigen Punkte durch gerade Linien verbunden, wodurch die Linien $g\,\varkappa$, $e\,x$ und $m\,w$ eine mit der Linie B A parallele Richtung erhalten. Die so erhaltene Figur ist die verlangte.

Bearbeitung der Steine.

Um den Anfänger darzustellen, wird zunächst dessen unteres Lager bearbeitet. Ist dies geschehen, so werden rechtwinklig gegen dieses Lager die beiden Häupter tracirt, die Hauptschablone aufgelegt, und mit Blutstein oder Röthel die Richtung der oberen Lagerfuge, so wie die Krümmung des Wölbungsbogens, vorgezeichnet. Hiernach ist es nun leicht, den Stein völlig zu bearbeiten. Eben so werden die übrigen Steine dieses Bogens dargestellt.

§. 82.

Fig. 150. stellt den Grundriss eines Bogens vor, welcher in normaler Richtung durch eine Mauer hindurchgeht, die auf der einen Seite dossirt ist, wie aus Fig. 151, dem Durchschnitt dieses Bogens nach der Linie $f' y'$, zu ersehen ist. Die Linie $r''' \gamma'''$ stellt die Projection der Böschungslinie vor, und $\gamma''' \sigma'''$ die Ausladung derselben.

Die Fig. 150. wird erhalten, wenn man die ersten Projectionen von jedem Stein ermittelt. Es geschieht dies z. B. vom Schlussstein, wenn man die dritte Projection $e''' x'''$ Fig. 151. der inneren Fugenkante $e x$ ermittelt, indem man $a''' e''' = g^0 g''$ Fig. 142. macht, sodann die Punkte e'', g'', o'', m'' Figur 142. nach e', g', o' und m' Fig. 150. projicirt, aus diesen vier Punkten gerade Linien normal auf $L' h'$ construirt, und die Längen $e' x'$ und $g' z'$ gleich $e''' x'''$ Fig. 151, so wie $f' y'$ gleich $f''' y'''$ macht, und endlich jede der Linien $o' \alpha'$, $m' w'$ und $f' \gamma'$ mit $\delta''' \gamma'''$ gleich lang macht. Die Figur $g' z' y' x' e' o' \alpha' w' m'$ stellt dann die erste Projection des Schlusssteins vor. Ganz in derselben Weise werden die Projectionen aller übrigen Steine erhalten.

Die geraden Linien $\alpha' z'$, $w' x'$, $t' v'$, $q' u'$ und $p' s'$ sind die ersten Projectionen der Centralfugen des schiefen Hauptes, und A' ist die erste Projection des Mittelpunktes derselben; es müssen daher jene geraden Linien in dem Punkte A' sich schneiden, wenn alle Punkte richtig projicirt sind. — Die innere Wölbungsfläche mit den Lagerfugen auszutragen, construire man wie folgt:

Man mache (L) (a) Fig. 149. gleich der Länge des Kreisbogens $a'' f'' L''$ der Wölbungsfläche, und nachdem (a) (b) = (b) (c) = (c) (d) = (d) (e) = $\frac{1}{9}$ von der Linie (a) (L) gemacht worden, nehme man normal auf (a) (L) die Längen (a) (r) = $a' r'$, (b) (s) = $b' s'$, (c) (u) = $c' u'$, (d) (v) = $d' v'$, (e) (x) = $e' x'$ u. s. w., verbinde sodann die Punkte (r), (s), (u), (v), (x) durch eine entsprechende krumme Linie, so erhält man hiermit die Abwickelung der inneren Wölbungsfläche.

Die Lagerfugen zu erhalten, bilde man die Trapeze, deren parallele Seiten den entsprechenden Längen der unteren Lei-

bungsfugen, so wie den oberen, auf der Stirnfläche des Bogens normal stehenden Fugenkanten der Lagerfugen, gleich sind, und deren Höhen mit den in der Stirnfläche des Bogens befindlichen Centralfugen gleich gross sind. Um etwa die Lagerfuge des Schlusssteins zu erhalten, mache man (*e*) (*m*) Figur 149. gleich *e*″ *m*″ Fig. 142, ziehe (*m*) (*w*) parallel (*e*) (x) und mache sie mit *m*′ *w*′ Figur 150. gleich lang; ziehe endlich die gerade Linie (x) (*w*), so stellt die Figur (*e*) (x) (*w*) (*m*) die Lagerfuge des Schlusssteins vor. Eben so erhält man die Lagerfugen der übrigen Steine.

Zeichnen der Steine dieses Bogens.

Die Figuren 152, 153 und 154 zeigen drei Steine dieses Bogens in der schiefen Projection gezeichnet. Die beiden ersten Figuren sind Ansichten von oben; die dritte Figur stellt eine Ansicht von unten vor. Um das schiefe Haupt jedes Steins in der Ansicht zu haben, sind diese drei Steine von uns in der entgegengesetzten Lage, welche sie im Bogen haben, gezeichnet worden.

Die Figur 152 zu zeichnen, construire man den Stein zunächst in der Weise, als hätte er in beiden Stirnflächen normale Häupter, von welchen jedes congruent der Figur *a*″ b″ *i*″ *O*″ *k*″ Fig. 142. ist. Dies gebe die Figur 1 . 2 . 3 . β *r a* b *i O*. Die Entfernung des Punktes *p*′ von der Linie *r*′ β′ Figur 150. giebt die Ausladung der Dossirung an, welche dieselbe in der Höhe der horizontalen Lagerfuge *i*″ *O*″ Fig. 142. hat. Wenn man daher die Länge *Q* 3 dieser Entfernung gleich macht, *Q p* parallel mit 3 . 2 zieht, die Punkte *p* und A durch eine gerade Linie verbindet; so stellt die Figur *s p Q* β *r* das dossirte Haupt und *s p Q* β *r a* b *i O* den verlangten Stein vor. Die Figur 153. stellt den nächsten Stein über dem Anfänger vor. Um diesen Stein zu zeichnen, construire man ihn ebenfalls erst mit zwei normalen Häuptern, deren jedes gleiche Grösse und Form mit der Figur b″ *c*″ *k*″ 7″ *i*″ Figur 142. hat. Dies gebe die Figur 1 . 2 . 3 . 4 . 5 b *c k* 7. Sodann trage man die Entfernungen der Punkte q′ und *p*′ von der Linie β′ *r*′ Fig. 150. erstere von 3 nach 6 und letztere von 2 nach *p*, ziehe die Linie 6 q parallel der

Linie 3 . 4, verbinde A mit den Punkten p und q durch gerade Linien, und die hierdurch hervorgehenden Punkte *s* und *u* durch eine entsprechende Kurve: die Figur *u* q 6 *p s* b *c k* 7 ist alsdann die verlangte Figur. In demselben Princip wird der Schlussstein Fig. 154. construirt.

Bearbeitung der Steine.

Nach der rechtwinkligen Behauungsmethode wird der Anfänger erhalten, indem zunächst das Parallelepipedum 3 . 4 . 5 dargestellt wird, welches den Dimensionen des darzustellenden Steins entspricht. Sodann wird aus Fig. 142. die Ausladung der Leibung von 4 nach *r*, die Höhe der Leibung von 4 bis 1 und die Breite des oberen horizontalen Lagers von 3 nach 2 abgetragen, und hiernach der Stein so bearbeitet, als hätte er zwei normale Häupter, wie beim geraden Bogen in der nicht dossirten Mauer. Ist der Stein in dieser Art vollendet, so wird die obere Einziehung 3 *Q*, 2 . *p*, 1 . *s* nach Fig. 150. abgetragen und das schräge Haupt *r* β *Q p s* bearbeitet. Damit ist der Stein fertig dargestellt.

Nach der Abbrettungsmethode geschieht die Bearbeitung dieses Steins, indem zunächst das untere Lager desselben rein dargestellt, und das hintere gerade Haupt normal auf jenem Lager tracirt wird. Nachdem dies geschehen ist, wird die Hauptschablone angelegt, der Umriss des Hauptes aufgezeichnet und hiernach dasselbe bearbeitet. Das vordere schiefe Haupt *Q p s r* β wird sodann erhalten, indem entweder der spitze Neigungswinkel *a‴ r‴ γ‴* Fig. 151. an der Kante *r* β vermittelst der Schmiege vom Musterrisse abgenommen und auf den Stein getragen wird, oder es werden die Längen O Q, *ip*, b *s* mit dem Stangenzirkel aus dem Musterrisse entnommen, auf den Stein aufgetragen, und hiernach das schiefe Haupt bearbeitet. Eben so werden die in Fig. 153. und in Fig. 154. dargestellten Steine bearbeitet.

§. 83.

Die Figuren 157, 158 und 155 zeigen den Grundriss, den Durchschnitt und die Abwickelung eines Bogens, welcher in schräger Richtung die Mauer durchdringt, und deshalb schräger oder schiefer Bogen genannt wird.

Figur 156. stellt die Stirnfläche des schiefen Hauptes vor. Sie wird erhalten, wenn man die Endpunkte aller Fugen im normalen Haupte Fig. 142. auf die Linie $\beta' \omega'$ Fig. 157. projicirt, sodann in den erhaltenen Punkten Normalen auf der Linie $\beta' \omega'$ construirt, und diese mit den entsprechenden Höhen in dem normalen Haupte gleich gross macht; wenn man endlich noch die zusammengehörigen Punkte durch Linien verbindet, so wird die hervorgehende Figur das schiefe Haupt des Bogens vorstellen.

Das schiefe Haupt des Anfängers wird z. B. erhalten, wenn man den Punkt V'' Fig. 142. nach φ' Fig. 156. projicirt, und den Punkt W'' nach μ'; wenn man sodann in den Punkten φ' und μ' Normalen $\varphi' V_{,,}$ und $\mu' W_{,,}$ auf $\beta' \omega'$ construirt, und diese mit den Höhen $V'' V^0$ und $W'' W^0$ beziehlich gleich lang macht. Wenn man ferner die Punkte $V_{,,}$ und $W_{,,}$ durch eine gerade Linie verbindet, und $W_{,,} \omega_{,,}$ parallel $\beta' \omega'$ zieht, sodann eine halbe Ellipse construirt, deren grosse Achse die Linie $\lambda' r'$, der Durchmesser $L' a'$ aber die kleine Achse ist, so ist $\omega' \lambda' V_{,,} W_{,,} \omega_{,,}$ das schiefe Haupt des Anfängers. Ganz eben so bestimmen sich die schiefen Häupter der übrigen Steine.

Die krumme Linie $\lambda' f_{,,}$ ist ein elliptischer Bogen; die innere Wölbungsfläche hingegen ist kreisförmig. Da nun die Lagerfugen auf der Wölbungsfläche normal stehen müssen, kann die Richtung der Fugen $W_{,,} V_{,,}$, $o_{,,} g_{,,}$ nicht normal auf dem elliptischen Bogen $\lambda' f_{,,}$ stehen, sondern wird durch den Mittelpunkt y' gehen müssen.

Der Durchschnitt Fig. 158. nach der Linie $f' y'$ des Grundrisses genommen, wird in folgender Art erhalten:

Man trage normal auf die Linie $a''' \beta'''$ die Höhen der inneren Fugenpunkte. Diese Höhen können aus Figur 142. entnommen werden. Ist etwa $a''' b''' = V'' V^0$ Fig. 142. die eine dieser Höhen, so ziehe man aus b''' eine gerade Linie parallel mit $a''' \beta'''$ und projicire den Punkt s' Fig. 157. nach s''' in dieser Linie Projicire ferner den Mittelpunkt y' nach A''' und ziehe die Linie $A''' s'''$; projicire endlich auf ihre verlängerte Richtung den Punkt p' nach p''', und ziehe die gerade Linie $Q''' p'''$ parallel $\beta''' a'''$. Eben so verfahre man mit allen übrigen Fugenpunkten.

Die Wölbungsfläche des schiefen Bogens abzuwickeln, construire man wie folgt:

Man mache die gerade Linie (*a*) (*L*) Fig. 155. gleich dem Halbkreise *L″ f″ a″* Fig. 142, indem man den Radius desselben von (*a*) nach (*L*) hin dreimal abträgt, und dieser Länge noch $\frac{1}{10}$ von der Sehne des Kreisquadranten hinzufügt.

Es werde sodann die gerade Linie (*a*) (*L*) in so viel gleicher Theile eingetheilt, als in dem normalen Haupte des Gewölbebogens Gewölbsteine vorhanden sind. Dies gebe die Punkte (*a*), (*b*), (*c*), (*d*), (*e*) u. s. f.

In diesen Punkten construire man ferner gerade Linien normal auf (*a*) (*L*), und trage auf sie der Reihenfolge nach die Maasse der Seiten des schief abgeschnittenen normalen Cylindermantels, wie solche der Grundriss Fig. 157. angiebt; d. h. es werde (*a*) (*r*) Fig. 155. gleich *a′ r″* Fig. 157. gemacht,

ferner (b) (*s*) = b′ *s′*,
(*c*) (*u*) = *c′ u′*,
(*d*) (*v*) = *d′ v′*,
(*e*) (x) = *e′* x′ u. s. f.

Durch die erhaltenen Punkte lege man dann die Kurve (*r*) (λ), alsdann stellt die Figur *(a) (L) (λ) (r)* die abgewickelte Wölbungsfläche vor.

Wir kommen zum Austragen der Lagerfugen des schiefen Gewölbebogens.

Die Figur *e′ m′ w′* x′ Fig. 157. stellt die erste Projection der einen Lagerfuge *e m w* x des Schlusssteins vor. Diese Lagerfuge bildet ein Trapez, welches die Längen *e′* x′ und *m′ w′* Fig. 157. zu parallelen Seiten hat, und dessen Höhe die Linie *e″ m″* Fig. 142. ist. Es wird daher diese Lagerfuge ausgetragen, wenn man Fig. 155. die Länge (*e*) (*m*) gleich *e″ m″* Fig. 142. macht, die Linie (*m*) (*w*) parallel (*e*) (x) zieht, ihre Länge gleich *m′ w′* Fig. 157. macht und die Punkte (*w*), (x) durch eine gerade Linie verbindet: die Figur (*e*) (x) (*w*) (*m*) stellt alsdann die ausgetragene Lagerfuge *e* x *w m* des Schlusssteins vor. Eben so werden die übrigen Lagerfugen ausgetragen.

Die Fig. 157. stellt den schiefen Gewölbebogen in der Art vor, als sei nur das eine Haupt schief geneigt gegen die Achse;

das andere aber normal auf derselben. Wenn aber beide Häupter eine schräge Stellung gegen die Achse haben, so denke man zwischen diesen Häuptern eine lothrechte Ebene normal auf der Achse des Gewölbes; dadurch erhält man zwei schiefe Gewölbebogen von der Form, wie Fig. 157. im Grundrisse zeigt, und man ist nun im Stande, die Projectionen von jedem Theile festzustellen, so wie auch die Punkte im Raum auszutragen.

Zeichnen der Steine dieses Bogens.

Fig. 159. zeigt den rechts liegenden Anfänger, von oben angesehen; Fig. 160. den nächst folgenden Stein in derselben Ansicht; Fig. 161. aber den Schlussstein, von unten angesehen. Diese drei Steine sind in umgekehrter Lage gezeichnet worden, um das schiefe Haupt jedes Steins in der Ansicht zu haben. Die Fig. 159. wird erhalten, wenn man den Stein zunächst so zeichnet, als hätte er zwei normale Häupter. Zu dem Ende ziehe man die horizontale Linie β A, mache A 2 gleich $f' a'$ Fig. 157, A β gleich $f' h'$, ziehe β Q normal auf β A und mache diese Normale gleich h'' O'' Fig. 142. Hierauf ziehe man die Linie Q 4 parallel β A und mache sie mit i'' O'' Fig. 142. gleich lang; ziehe dann die gerade Linie A 4, und beschreibe aus A den Kreisbogen 2 . 3: die Figur 2 . 3 . 4 . Q β ist dann das eine normale Haupt.

Um das andere Haupt zu construiren, errichte man in jedem Eckpunkte dieses Hauptes Normalen auf demselben, und mache jede gleich lang mit $h' \beta'$ Fig. 157, verbinde dann die Punkte a und b durch einen Kreisbogen, die Punkte b, i und O aber durch gerade Linien, dadurch erhält man das zweite Haupt. Nachdem dies geschehen ist, verbinde man die zusammengehörigen Eckpunkte beider Häupter durch gerade Linien, ziehe A B parallel der Linie 2 . a, mache A y gleich der Differenz $h' \beta'$ weniger $f' y'$ Fig. 157, ziehe die gerade Linie β y, und parallel mit ihr die Linie $Q p$; verbinde den Punkt p mit y durch eine gerade Linie, den Punkt s aber, in welchem die Linien p y und 3 b sich schneiden, mit r durch einen elliptischen Bogen: die Figur $\beta r s p$ Q stellt alsdann das schiefe Haupt dieses Steins vor, und $\beta r s p$ Q O i b a den fertigen Stein.

In demselben Princip wird Fig. 160. erhalten, so wie auch Fig. 161. Dabei ist jedoch noch zu bemerken, dass die Entfernung der normalen Häupter des in Fig. 160. dargestellten Steins gleich der Länge $i' p'$ Fig. 157. ist; so dass also A, B Fig. 160. gleich $3 . b = 5 . c = 8 . k = 6 . 7 = i' p'$ Fig. 157, und die Länge B y gleich $f' y'$ Fig. 157. ist. Die Figur $p s u q 6$ stellt das schiefe Haupt dieses Steins vor, und $p s u q 6 . 7 k c b$ den fertigen Stein. In Figur 161. ist dagegen die Entfernung $B A_2$ der normalen Häupter gleich der Länge $m' w'$ Fig 157; $x z \alpha w$ stellt das schiefe Haupt vor, und $w \alpha z x e g o$ den fertigen Schlussstein.

Die Bearbeitung der Steine geschieht in derselben Weise, wie beim normalen Bogen in der dossirten Mauer gezeigt worden ist.

§. 84.

Die Fig. 162, 163 und 164 zeigen die Abwickelung, den Grundriss, und den mittleren Durchschnitt eines Bogens, welcher in schräger Richtung eine dossirte Mauer durchdringt. Um die Projectionen dieses Bogens zu erhalten, bilde man die Projectionen jedes Steins. Wie dies geschieht, wollen wir am Anfänger zeigen. Die Linie $H' h'$ Fig. 163. stehe normal auf der Achse des Gewölbes, sie stelle die Richtung des normalen Hauptes vor. Die Linie $\lambda' \beta'$ sei dagegen geneigt gegen die Achse, und stelle die Richtung des schiefen Hauptes vor. Beide Richtungen seien gegeben. Man projicire nun die Punkte a'', b'', i'' und h'' in Fig. 142. nach a', b', i' und h' Fig. 163, errichte in diesen Punkten Normalen auf der Linie $h' H'$ und verlängere dieselben bis an die Linie $\lambda' \beta'$. Sodann projicire man den Punkt a' Fig. 163. nach a''' Fig. 164, r' nach r''' und β' nach β''' auf die gerade Linie $a''' \beta'''$, welche die Achse der dritten Projectionsebene vorstellt; construire ferner $a''' \delta'''$ normal auf $a''' \beta'''$ und mache den Winkel $a''' \beta''' K'''$ gleich gross mit dem Winkel, welchen die Böschungsseite der dossirten Mauer mit dem Horizonte bildet: die Linie $\beta''' K'''$ stellt alsdann die Richtung der Böschungsseite für den Punkt β vor. Nachdem dies geschehen ist, mache man $a''' b'''$ Fig. 164. gleich $V'' V^0$ Fig. 142, der Höhe der Leibung des Anfängers, und ziehe die Linie $b''' 3'''$ Fig. 164.

parallel $a'''\ \beta'''$; projicire den Punkt 2′ Fig. 163. nach 2‴ Figur 164., mache die Länge $2'''\ s'''$ gleich der Länge $3'''\ 4'''$, und projicire den Punkt s''' auf die Linie b′ 2′ zurück nach s' Fig. 163., so sind hierdurch die Projectionen des einen Endpunktes des schiefen Hauptes bestimmt worden.

In einer andern Weise werden die Punkte s''' und s' auch erhalten, wenn man den Punkt 2′ Fig. 163. auf die Linie $a'''\ \beta'''$ projicirt, und aus diesem Punkte eine gerade Linie parallel $\beta'''\ K'''$ construirt, alsdann wird diese Parallele die Linie b‴ 3‴ im Punkte s''' schneiden, welchen Punkt man nur auf die Linie b′ 2′ zurück zu projiciren braucht, um den Punkt s' zu erhalten. Hierauf ziehe man die gerade Linie $A'\ s'$, und projicire den Punkt i' Figur 142. auf die Verlängerung dieser Linie nach p', ziehe $p'\ Q'$ parallel $r'\ \beta'$: alsdann ist $\beta'\ r'\ s'\ p'\ Q'$ die erste Projection des schiefen Hauptes, und $\beta'\ r'\ s'\ p'\ Q'\ h'\ a'\ b'\ i'$ die erste Projection des Anfängers.

Um noch die dritten Projectionen des Anfängers festzusetzen, projicire man den Punct A′ nach A‴ in der Linie $a'''\ \beta'''$ Fig. 164., ziehe die gerade Linie $A'''\ s'''$, projicire den Punct p' auf die Verlängerung derselben nach p''', construire $p'''\ Q'''$ parallel $a'''\ \beta'''$, und verbinde die Punkte r''' und s''' durch eine entsprechende Kurve: die Figur $Q'''\ p'''\ s'''\ b'''\ a'''\ r'''\ \beta'''$ ist dann die dritte Projection des Anfängers.

Wir kommen zu dem nächsten Stein über dem Anfänger.

Die zweite Projection des normalen Hauptes dieses Steins ist gegeben; es ist dies die Figur $b''\ c''\ k''\ 7''\ i''$ Fig. 142. Mit Hülfe dieser Figur können die ersten und dritten Projectionen dieses Steins ermittelt werden. Zu dem Ende projicire man den Punkt c'' Fig. 142 nach c' Fig. 163, den Punkt k'' nach k', construire in diesen Punkten Normalen auf der Linie $h'\ H'$, und verlängere dieselben bis an die Linie $\beta'\ \lambda'$. Hierdurch wird der Punkt 5′ in der Linie $r'\ \lambda'$ erhalten. Diesen Punkt projicire man auf die Linie $a'''\ \beta'''$ nach 5‴, mache $a'''\ c'''$ gleich der Leibungshöhe des Punktes c'' Figur 142., und construire $c'''\ u'''$ parallel $a'''\ \beta'''$; $5'''\ u'''$ aber parallel $\beta'''\ K'''$: der Durchschnittspunkt u''' beider Linien ist die dritte Projection des einen Punktes u vom schiefen Haupte, welchen Punkt man nur auf die Linie $c'\ 5'$ zu-

rück zu projiciren braucht, um die erste Projection u' dieses Punktes zu erhalten.

Um die übrigen Punkte des schiefen Hauptes zu ermitteln, ziehe man die gerade Linie $A'\ u'$, und verlängere sie bis zum Durchschnittspunkte q' mit der Linie $k'\ q'$, construire die gerade Linie $q'\ 6'$ parallel $r'\ \beta'$, die Figur $p'\ s'\ u'\ q'\ k'\ b'\ c'$ ist dann die gesuchte erste Projection. Um noch die dritte Projection dieses Steins zu vervollständigen, ziehe man die Linie $A'''\ u'''$ Fig. 164., projicire den Punkt q' nach q''' in dieser Linie, ziehe $q'''\ G'''$ parallel $a'''\ \beta'''$ und $p'''\ 6'''$ parallel $\beta'''\ K'''$: die Figur $b'''\ s'''\ p'''\ 6'''\ q'''\ u'''\ c'''$ ist alsdann die dritte Projection des Steins über dem Anfänger.

Bestimmung der Projectionen des Schlusssteins.

Die zweiten Projectionen der Eckpunkte des normalen Hauptes dieses Steins sind gegeben, es sind dies die Punkte $e''\ g''\ o''\ m''$ Fig. 142.; mit Hülfe dieser Punkte kann man die ersten und die dritten Projectionen ermitteln, wenn man construirt, wie folgt:

Es werde der Punkt e'' Fig. 142. nach e' Fig. 163. projicirt, der Punkt g'' nach g', o'' nach o' und m'' nach m'. In diesen Punkten construire man Normalen auf $H'\ h'$ und verlängere sie bis an die Linie $\beta'\ \lambda'$. Die in dem Punkte e' auf $H'\ h'$ construirte Normale trifft die Linie $\beta'\ \lambda'$ in ϱ'; diesen Punkt projicire man auf die Linie $a'''\ \beta'''$ nach ϱ''', und construire durch diesen Punkt die Linie $\varrho'''\ x'''$ parallel zu $\beta'''\ K'''$. Hierauf mache man $a'''\ e'''$ gleich der Leibungshöhe des Punktes e'' Fig. 142, ziehe $e'''\ x'''$ parallel $a'''\ \beta'''$, so wird diese die Linie $\varrho'''\ x'''$ in x''' durchschneiden. Man projicire endlich den Punkt x''' auf die Linie $e'\ \varrho'$ nach x', den Punkt K''' nach K', ziehe $x'\ z'$ und $K'\ \varphi'$ parallel $\beta'\ \lambda'$: so ist $K'\ \varphi'$ die erste Projection der oberen Kante des dossirten Hauptes, und $\alpha'\ z'\ x'\ w'$ die erste Projection des schiefen Hauptes des Schlusssteins.

Die gerade Linie $K'\ \varphi'$ wird von der in f' errichteten Normale auf $H'\ h'$ im Punkte γ' getroffen; diesen Punkt projicire man auf die Linie $\delta'''\ K'''$ nach γ''', ziehe die geraden Linien $A'''\ \gamma'''$ und $A'''\ x'''$, verlängere die letztere Linie bis w''', mache $a'''\ f'''$ gleich $f'\ f''$ Fig. 142., und ziehe $f'''\ y'''$ parallel $a'''\ \beta'''$:

der Durchschnittspunkt y''' der Linien $A'''\ \gamma'''$ und $f'''\ y'''$ ist die dritte Projection des mittelsten unteren Punktes am Schlussstein. Endlich projicire man den Punkt y''' auf die gerade Linie $f'\ \gamma'$ nach y' Fig. 163., und es ist dann $m'\ o'\ \alpha'\ z'\ y'\ x'\ w'$ die gesuchte Projection vom Schlussstein. Eben so erhält man die Projectionen der übrigen Steine. — Die Abwickelung der inneren Wölbungsfläche dieses Bogens geschieht in derselben Art, wie dies in Figur 157. erklärt worden ist. Dasselbe gilt vom Austragen der Lagerfugen. Dieselben bilden auch hier Trapeze, deren parallele Seiten aus dem Grundrisse Fig. 163., die zugehörigen Höhen aber aus dem Aufrisse Fig. 142. zu entnehmen sind.

Zeichnen der Steine dieses Bogéns.

Fig. 165. zeigt den Anfänger, Fig. 166. den nächstfolgenden Stein, und Fig. 167. den Schlussstein dieses Bogens. Diese drei Steine sind hier in der umgekehrten Lage, welche sie im Gewölbe haben, gezeichnet worden. Die Fig. 165. zu zeichnen construire man den Stein zunächst in der Art, als hätte er zwei normale Häupter, deren Entfernung von einander die Linie FO gleich $h'\beta'$ Fig. 163. ist. Dies gebe die Figur $\beta CDE\ FO\ iba$. Sodann mache man $ar = a'r'$ Fig. 163., $bs = b's'$, $ip = i'p'$ und $OQ = h'Q'$; ziehe die geraden Linien $Q\beta$, Qp, ps und βr, so wie endlich den Bogen rs: die Figur $\beta rsp\,Q\,O\,iba$ ist dann die verlangte.

Um den in Figur 166. dargestellten Stein zu construiren, zeichne man denselben mit zwei normalen Häuptern $pMRST$ und $bck7$, deren Entfernung bT von einander gleich der Länge $i'p'$ Fig. 163. ist. Dies gebe die Figur $pTSRM7kcb$. Hierauf mache man $b\,s$ gleich $b'\,s'$, $c\,u$ gleich $c'\,u'$, $k\,q$ gleich $k'\,q'$ und die Länge 7.6 gleich $i'6'$: alsdann ist die Figur $p6\,usbckq7$ die verlangte.

In demselben Princip kann man den Schlussstein Fig. 167. zeichnen. Oder man beginnt mit dem hinteren normalen Haupte ego, und macht $gz = g'z'$ Fig. 163., $ex = e'x'$, $o\alpha = o'\alpha'$ und die hintere Kante $mw = m'w'$: alsdann ist $wxz\alpha$ das schiefe Haupt des Schlusssteins und $egowxz\alpha$ der Schlussstein selbst. Eben so zeichnet man die übrigen Steine.

§. 85.

Die Figuren 168, 169 und 170 zeigen die Abwickelung, den Grundriss und den normalen Durchschnitt eines in vollem Bogen construirten Gewölbebogens, welcher eine cylindrische, zu beiden Seiten lothrechte Mauer in der Art durchdringt, dass die Achse des Gewölbes durch die Achse der cylindrischen Mauer geht. Um die Projectionen dieses Bogens festzustellen, construire man wie folgt:

Die Punkte a'', b'', c'' u. s. f. Fig. 142. projicire man auf den Kreisbogen $h' H'$ Fig. 169. nach a', b', c' u. s. f.; ziehe die Linien $a' r'$, $b' s'$, $c' u'$ u. s. f. parallel mit der Achse des Gewölbes, so stellen diese Linien die ersten Projectionen der inneren Leibungsfugen vor. Sodann projicire man den Punkt a' Figur 169 nach a''' Fig. 170., den Punkt r' nach r''', und h' nach h'''. In dem Punkte h''' werde die Linie $h''' \sigma'''$ normal auf $h''' r'''$ construirt, und $h''' O'''$ gleich $h'' O''$ Fig. 142. gemacht; sodann werde die Linie $O''' i'''$ parallel $h''' r'''$ gezogen, und der Punkt i' Figur 169. nach i''' Figur 170. projicirt. Es werde ferner die Höhe $h''' R'''$ Fig. 170. gleich der Leibungshöhe des Punktes b'' Figur 142. gemacht, die Linie $R''' s'''$ parallel mit $h''' r'''$ gezogen, und die Punkte b' und s' Fig. 169. nach b''' und s''' projicirt. Man verbinde endlich die Punkte r''', s''' und a''', b''' durch entsprechende Bogen, die Punkte b''', i''' aber durch eine gerade Linie; so stellt die Figur $r''' a''' h''' O''' i''' b''' s'''$ die dritte Projection vom Anfänger vor, und die Figur $h' b' s' \beta'$ die erste Projection desselben. Ebenso werden die Projectionen der übrigen Steine gefunden.

Wir kommen zur Abwickelung der Wölbungsfläche dieses Bogens.

Um diesen Bogen richtig abzuwickeln, muss in Figur 169. die gerade Linie $h' H'$ gedacht werden, durch welche die runde Mauer in dieser Gegend auf der einen Seite in eine gerade Mauer verwandelt wird. Sodann muss man sich vorstellen, es sei der Gewölbebogen bis an diese Mauerseite $h' H'$ erweitert worden, so dass derselbe auf dieser Seite ein normales Haupt, auf der entgegengesetzten Seite aber ein rundes Haupt hätte. Alsdann kann man mit Hülfe des normalen Hauptes die Wölbungsfläche

dieses Bogens in eine Ebene ausbreiten, indem man die gerade Linie (*C*) (23) Fig. 168. gleich lang macht mit dem Halbkreise, welcher mit dem Durchmesser *C'* 23' oder *a' L'* Fig. 169. beschrieben wird, und diese Linie (*C*) (23) in so viel gleicher Theile theilt, als der Bogen Gewölbsteine hat. Hierdurch ergeben sich die Punkte (C) (D) (E) (F) u. s. f. Fig. 168. Wenn man ferner in diesen Punkten Normalen auf der Linie (C) (23) construirt, die geraden Linien *r' a'*, *s' b'*, *u' c'*, *v' d'* u. s. f. bis an die gerade Linie *h' H'* Fig. 169. verlängert, und

(C) (*a*) Fig. 168. gleich C' *a'* Fig. 169. macht,
ferner (C) (*r*) = C' *r'*
(D) (*b*) = D' *b'*
(D) (*s*) = D' *s'*
(E) (*c*) = E' *c'*
(E) (*u*) = E' *u'* macht, u. s. f.;

wenn man endlich die entsprechenden Punkte durch eine krumme Linie verbindet, so stellt die hervorgehende Figur (*a*) (*b*) (*c*) (*d*) (*e*) (*g*) (*L*) (λ) (*r*) Fig. 168. die in eine Ebene ausgebreitete Wölbungsfläche des Bogens vor.

Das Austragen der Lagerfugen hat hier seine Schwierigkeiten; denn jede Lagerfuge wird von zwei parallelen Linien und von zwei elliptischen Linien eingeschlossen, deren genaue Construction immer schwierig ist. Um z. B. die obere Lagerfuge des zweiten Gewölbsteins auszutragen, deren zweite Projection die Linie *c'' k''* Fig. 142. ist, und deren erste Projection die Figur *c' u' q' k'* Fig. 169. vorstellt, werde auf der Linie (*c*) (*u*) Figur 168. in einem beliebigen Punkte eine Normale construirt und dieselbe mit *c'' k''* Fig. 142. gleich lang gemacht. Durch den Endpunkt dieser Normale werde sodann eine gerade Linie (*q*) (*k*) parallel mit (*u*) (*c*) construirt, und die Punkte (*k*), (*q*) in derselben so festgesetzt, dass ihre Entfernungen von der Linie (C) (23) beziehlich gleich sind den Entfernungen der Punkte *k'* und *q'* von der Linie *h' H'* Fig. 168. Um aber noch Zwischenpunkte der Kurven (*c*) (*k*), (*u*) (*q*) zu gewinnen, theile man die gerade Linie *c'' k''* Fig. 142. in eine beliebige Anzahl gleicher Theile, und projicire diese Theilpunkte auf die Kreisbogen *k' c'* und *q' u'* Fig. 169.; endlich theile man die normale Entfernung der Linien

(*c*) (*u*) und (*k*) (*q*) in eben so viel gleicher Theile, als die Linie *c''k''* Fig. 142. getheilt ist, ziehe durch diese Theilpunkte gerade Linien parallel mit (*c*) (*u*) und projicire auf diese Parallelen die Theilpunkte der Bogen *c'k'* und *u'q'*: die hervorgehenden Punkte bestimmen die elliptischen Bogen (*c*) (*k*) und (*u*) (*q*), welche nun construirt werden können. Hierdurch wird die Figur (*c*) (*u*) (*q*) (*k*) erhalten, welche die verlangte Lagerfuge vorstellt. Ebenso werden die übrigen Lagerfugen ermittelt.

Zeichnen der Steine dieses Bogens.

Fig. 171. zeigt den Anfänger dieses Bogens, Fig. 172. den nächsten Stein über dem Anfänger, Fig. 173. den 3ten Stein von unten, Fig. 174. den vierten, und endlich Fig. 175. den Schlussstein Die Fig. 171. wird erhalten, wenn man das Rechteck 15'. 16'. 17'. *H'* Fig. 169. construirt, die Länge *B A* Figur 171. gleich der einen Seite 15'. 16' dieses Rechtecks macht, und aus diesen zwei Punkten die beiden normalen Häupter *H*. 23. 15. 20. 26 und 24. 16. 28. 17 construirt. Wenn man ferner die Länge 23 *L* gleich 23' *L'* Fig. 169. macht,

ferner die Länge 15. 19 = 15'. 19' Fig. 169.
20. 27 = 21'. 10' —
24. λ = 24' λ' —
28. 25 = 28'. 25' —
17. 18 = 17'. 18' macht,

und die Bogen durch die entsprechenden Coordinaten bestimmt, so stellt die Figur *H* 26. 27. 19 *L* λ 16. 25. 18 den Anfänger vor.

Die Figur 172. wird erhalten, wenn man im Grundrisse Figur 169. das Rechteck 10'. 11'. 12'. 13' bildet, die Länge B, A, Fig. 172. gleich der einen Seite 11'. 12' dieses Rechtecks macht, und aus den Punkten B, und A, die normalen Häupter 27. 30. 11. 31. 10 und 33. 12. 34. 13 construirt. Wenn man ferner die zusammengehörigen Punkte dieser Häupter durch gerade Linien verbindet, und auf denselben die Längen abträgt, um welche die Eckpunkte der cylindrischen Häupter von den normalen Häuptern entfernt sind, so erhält man die Figur 27. 19. 38. 37. 10. 36. 35. 12. 16 als die verlangte. Die Figuren 173., 174. und 175. werden eben so erhalten. Sie werden mit Hülfe zweier normalen Häupter

dieses Bogens in eine Ebene ausbreiten, indem man die gerade Linie (*C*) (23) Fig. 168. gleich lang macht mit dem Halbkreise, welcher mit dem Durchmesser *C'* 23' oder *a' L'* Fig. 169. beschrieben wird, und diese Linie (*C*) (23) in so viel gleicher Theile theilt, als der Bogen Gewölbsteine hat. Hierdurch ergeben sich die Punkte (C) (D) (E) (F) u. s. f. Fig. 168. Wenn man ferner in diesen Punkten Normalen auf der Linie (C) (23) construirt, die geraden Linien *r' a'*, *s' b'*, *u' c'*, *v' d'* u. s. f. bis an die gerade Linie *h' H'* Fig. 169. verlängert, und

(C) (*a*) Fig. 168. gleich C' *a'* Fig. 169. macht,

ferner (C) (*r*) = C' *r'*

(D) (*b*) = D' *b'*

(D) (*s*) = D' *s'*

(E) (*c*) = E' *c'*

(E) (*u*) = E' *u'* macht, u. s. f.;

wenn man endlich die entsprechenden Punkte durch eine krumme Linie verbindet, so stellt die hervorgehende Figur (*a*) (*b*) (c) (*d*) (*e*) (*g*) (*L*) (λ) (*r*) Fig. 168. die in eine Ebene ausgebreitete Wölbungsfläche des Bogens vor.

Das Austragen der Lagerfugen hat hier seine Schwierigkeiten; denn jede Lagerfuge wird von zwei parallelen Linien und von zwei elliptischen Linien eingeschlossen, deren genaue Construction immer schwierig ist. Um z. B. die obere Lagerfuge des zweiten Gewölbsteins auszutragen, deren zweite Projection die Linie *c'' k''* Fig. 142. ist, und deren erste Projection die Figur *c' u' q' k'* Fig. 169. vorstellt, werde auf der Linie (*c*) (*u*) Figur 168. in einem beliebigen Punkte eine Normale construirt und dieselbe mit *c'' k''* Fig. 142. gleich lang gemacht. Durch den Endpunkt dieser Normale werde sodann eine gerade Linie (*q*) (*k*) parallel mit (*u*) (*c*) construirt, und die Punkte (*k*), (*q*) in derselben so festgesetzt, dass ihre Entfernungen von der Linie (C) (23) beziehlich gleich sind den Entfernungen der Punkte *k'* und *q'* von der Linie *h' H'* Fig. 168. Um aber noch Zwischenpunkte der Kurven (*c*) (*k*), (*u*) (*q*) zu gewinnen, theile man die gerade Linie *c'' k''* Fig. 142. in eine beliebige Anzahl gleicher Theile, und projicire diese Theilpunkte auf die Kreisbogen *k' c'* und *q' u'* Fig. 169.; endlich theile man die normale Entfernung der Linien

(*c*) (*u*) und (*k*) (*q*) in eben so viel gleicher Theile, als die Linie *c''k''* Fig. 142. getheilt ist, ziehe durch diese Theilpunkte gerade Linien parallel mit (*c*) (*u*) und projicire auf diese Parallelen die Theilpunkte der Bogen *c'k'* und *u'q'*: die hervorgehenden Punkte bestimmen die elliptischen Bogen (*c*) (*k*) und (*u*) (*q*), welche nun construirt werden können. Hierdurch wird die Figur (*c*) (*u*) (*q*) (*k*) erhalten, welche die verlangte Lagerfuge vorstellt. Ebenso werden die übrigen Lagerfugen ermittelt.

Zeichnen der Steine dieses Bogens.

Fig. 171. zeigt den Anfänger dieses Bogens, Fig. 172. den nächsten Stein über dem Anfänger, Fig. 173. den 3ten Stein von unten, Fig. 174. den vierten, und endlich Fig. 175. den Schlussstein Die Fig. 171. wird erhalten, wenn man das Rechteck 15'. 16' 17'. *H'* Fig. 169. construirt, die Länge *B A* Figur 171. gleich der einen Seite 15'. 16' dieses Rechtecks macht, und aus diesen zwei Punkten die beiden normalen Häupter *H*. 23. 15. 20. 26 und 24. 16. 28. 17 construirt. Wenn man ferner die Länge 23 *L* gleich 23' *L'* Fig. 169. macht,

ferner die Länge 15. 19 = 15'. 19' Fig. 169.
20. 27 = 21'. 10' —
24. λ = 24' λ' —
28. 25 = 28'. 25' —
17. 18 = 17'. 18' macht,

und die Bogen durch die entsprechenden Coordinaten bestimmt, so stellt die Figur *H* 26. 27. 19 *L* λ 16. 25. 18 den Anfänger vor.

Die Figur 172. wird erhalten, wenn man im Grundrisse Figur 169. das Rechteck 10'. 11'. 12'. 13' bildet, die Länge B, A, Fig. 172. gleich der einen Seite 11'. 12' dieses Rechtecks macht, und aus den Punkten B, und A, die normalen Häupter 27. 30. 11. 31. 10 und 33. 12. 34. 13 construirt. Wenn man ferner die zusammengehörigen Punkte dieser Häupter durch gerade Linien verbindet, und auf denselben die Längen abträgt, um welche die Eckpunkte der cylindrischen Häupter von den normalen Häuptern entfernt sind, so erhält man die Figur 27. 19. 38. 37. 10. 36. 35. 12. 16 als die verlangte. Die Figuren 173., 174. und 175. werden eben so erhalten. Sie werden mit Hülfe zweier normalen Häupter

dieses Bogens in eine Ebene ausbreiten, indem man die gerade Linie (*C*) (23) Fig. 168. gleich lang macht mit dem Halbkreise, welcher mit dem Durchmesser *C'* 23' oder *a' L'* Fig. 169. beschrieben wird, und diese Linie (*C*) (23) in so viel gleicher Theile theilt, als der Bogen Gewölbsteine hat. Hierdurch ergeben sich die Punkte (C) (D) (E) (F) u. s. f. Fig. 168. Wenn man ferner in diesen Punkten Normalen auf der Linie (C) (23) construirt, die geraden Linien *r' a'*, *s' b'*, *u' c'*, *v' d'* u. s. f. bis an die gerade Linie *h' H'* Fig. 169. verlängert, und

(C) (*a*) Fig. 168. gleich C' *a'* Fig. 169. macht,

ferner (C) (*r*) = C' *r'*

(D) (*b*) = D' *b'*

(D) (*s*) = D' *s'*

(E) (*c*) = E' *c'*

(E) (*u*) = E' *u'* macht, u. s. f.;

wenn man endlich die entsprechenden Punkte durch eine krumme Linie verbindet, so stellt die hervorgehende Figur (*a*) (*b*) (*c*) (*d*) (*e*) (*g*) (*L*) (λ) (*r*) Fig. 168. die in eine Ebene ausgebreitete Wölbungsfläche des Bogens vor.

Das Austragen der Lagerfugen hat hier seine Schwierigkeiten; denn jede Lagerfuge wird von zwei parallelen Linien und von zwei elliptischen Linien eingeschlossen, deren genaue Construction immer schwierig ist. Um z. B. die obere Lagerfuge des zweiten Gewölbsteins auszutragen, deren zweite Projection die Linie *c'' k''* Fig. 142. ist, und deren erste Projection die Figur *c' u' q' k'* Fig. 169. vorstellt, werde auf der Linie (*c*) (*u*) Figur 168. in einem beliebigen Punkte eine Normale construirt und dieselbe mit *c'' k''* Fig. 142. gleich lang gemacht. Durch den Endpunkt dieser Normale werde sodann eine gerade Linie (*q*) (*k*) parallel mit (*u*) (*c*) construirt, und die Punkte (*k*), (*q*) in derselben so festgesetzt, dass ihre Entfernungen von der Linie (C) (23) beziehlich gleich sind den Entfernungen der Punkte *k'* und *q'* von der Linie *h' H'* Fig. 168. Um aber noch Zwischenpunkte der Kurven (*c*) (*k*), (*u*) (*q*) zu gewinnen, theile man die gerade Linie *c'' k''* Fig. 142. in eine beliebige Anzahl gleicher Theile, und projicire diese Theilpunkte auf die Kreisbogen *k' c'* und *q' u'* Fig. 169.; endlich theile man die normale Entfernung der Linien

(*c*) (*u*) und (*k*) (*q*) in eben so viel gleicher Theile, als die Linie *c''k''* Fig. 142. getheilt ist, ziehe durch diese Theilpunkte gerade Linien parallel mit (*c*) (*u*) und projicire auf diese Parallelen die Theilpunkte der Bogen *c'k'* und *u'q'*: die hervorgehenden Punkte bestimmen die elliptischen Bogen (*c*) (*k*) und (*u*) (*q*), welche nun construirt werden können. Hierdurch wird die Figur (*c*) (*u*) (*q*) (*k*) erhalten, welche die verlangte Lagerfuge vorstellt. Ebenso werden die übrigen Lagerfugen ermittelt.

Zeichnen der Steine dieses Bogens.

Fig. 171. zeigt den Anfänger dieses Bogens, Fig. 172. den nächsten Stein über dem Anfänger, Fig. 173. den 3ten Stein von unten, Fig. 174. den vierten, und endlich Fig. 175. den Schlussstein Die Fig. 171. wird erhalten, wenn man das Rechteck 15'. 16'. 17'. *H'* Fig. 169. construirt, die Länge *B A* Figur 171. gleich der einen Seite 15'. 16' dieses Rechtecks macht, und aus diesen zwei Punkten die beiden normalen Häupter *H*. 23. 15. 20. 26 und 24. 16. 28. 17 construirt. Wenn man ferner die Länge 23 *L* gleich 23' *L'* Fig. 169. macht,

ferner die Länge 15. 19 = 15'. 19' Fig. 169.
20. 27 = 21'. 10' —
24. λ = 24' λ' —
28. 25 = 28'. 25' —
17. 18 = 17'. 18' macht,

und die Bogen durch die entsprechenden Coordinaten bestimmt, so stellt die Figur *H* 26. 27. 19 *L* λ 16. 25. 18 den Anfänger vor.

Die Figur 172. wird erhalten, wenn man im Grundrisse Figur 169. das Rechteck 10'. 11'. 12'. 13' bildet, die Länge B, A, Fig. 172. gleich der einen Seite 11'. 12' dieses Rechtecks macht, und aus den Punkten B, und A, die normalen Häupter 27. 30. 11. 31. 10 und 33. 12. 34. 13 construirt. Wenn man ferner die zusammengehörigen Punkte dieser Häupter durch gerade Linien verbindet, und auf denselben die Längen abträgt, um welche die Eckpunkte der cylindrischen Häupter von den normalen Häuptern entfernt sind, so erhält man die Figur 27. 19. 38. 37. 10. 36. 35. 12. 16 als die verlangte. Die Figuren 173., 174. und 175. werden eben so erhalten. Sie werden mit Hülfe zweier normalen Häupter

der Achse des Kegels, welche hier auf der Ebene der Richtungslinie normal gedacht, der Kegel also ein normaler Kegel ist. Der Kreisbogen $K' x'$ sei die erste Projection der Richtungslinie des normalen Kegels, und $P' Q'$ die der Richtungslinie des normalen Cylinders, welcher von der hinteren Mauerfläche gebildet wird.

Wenn die Richtungslinie des Kegels ein Kreis ist, so sind auch alle Schnitte des Kegels, welche parallel der Richtungslinie gedacht werden, Kreise. Wenn man daher die Linie $K' O'$, welche die erste Projection der Seite des von der vorderen Mauerfläche gebildeten abgekürzten Kegels vorstellt, in so viel gleicher Theile theilt, als die Mauer horizontale Steinschichten erhalten soll, und aus dem Mittelpunkte R' Kreisbogen beschreibt, welche durch die Theilpunkte L', M', N' und O' gehen: so sind dies die ersten Projectionen der horizontalen Fugen, in welchen die dossirte Mauerfläche von den horizontalen Lagerfugen geschnitten wird.

Die Curve $a' b' c' d' e' f' g' h' u' t' a_1'$ stellt die erste Projection derjenigen Linie vor, in welcher die kegelförmige Fläche der Mauer von dem cylindrischen Gewölbebogen geschnitten wird. Diese Curve zu erhalten, projicire man den Punkt x' nach x'' Fig. 179, y' nach y'', und ziehe die gerade Linie $x'' y''$. Diese Linie ist die zweite Projection der Seite des abgekürzten Kegels. Man ziehe ferner die geraden Linien $t'' v''$ und $u'' w''$ parallel mit der Grundlinie $i'' x''$, und projicire die Punkte v'' und w'', in welchen die Linie $x'' y''$ von jenen Parallelen getroffen wird, auf die Linie $x' y'$ nach v' und w'. Aus dem Mittelpunkte R' beschreibe man hierauf mit den Radien $R' v'$ und $R' w'$ die Kreisbogen $v' t' b'$ und $w' u' c'$, und projicire die Punkte t'', b'' Figur 179. auf den Kreisbogen $v' b'$ nach t' und b', und die Punkte u'', c'' auf den Kreisbogen $w' c'$ nach u' und c'. Ferner projicire man den Punkt a'' Fig. 179. nach a' Fig. 182. und a_1'' nach a_1': die Punkte a', b', c', u', t', a_1' sind alsdann Punkte der verlangten Curve.

Die Projectionen der Leibungsfugen werden nun erhalten, wenn man aus den Punkten a', b', c', a_1' u. s. f. gerade Linien $a' a_3'$, $b' b_3'$, $c' c_3'$, $a_4' a_5'$ parallel mit der Projection der Achse

des Gewölbes construirt; diese Linien sind in der Figur 182. punktirt worden, weil wir diesen Grundriss als Ansicht des Gewölbes von oben, gezeichnet haben. Die Centralfugen des Hauptes werden erhalten, wie im vorigen Falle Figur 180. gezeigt wurde; die Austragung der Lagerfugen Fig. 183. wird auch keiner Erklärung weiter bedürfen, in sofern das Austragen der Lagerfugen auf demselben Wege geschieht, welchen wir bei Figur 181. angaben.

§. 90.

Fig. 185. stellt den Fall vor, wo eine dossirte cylindrische Mauer von einem vollen Bogen in schiefer Richtung durchdrungen wird. Die Mauer ist nur in ihrer hinteren Seite cylindrisch; die vordere dossirte Aussenseite bildet einen schiefen abgekürzten Kegel, welcher aus der Umdrehung des Dreiecks i' S B' um die Achse S i' hervorgeht. Der Punkt i' ist sonach der Mittelpunkt der Richtungslinie R' B' des Kegels, und A' die erste Projection von der Spitze S. Der Kreisbogen X' X_2' ist die Richtungslinie des normalen Cylinders, welchen die hintere Mauerfläche bildet; und die Curve a' b' c' d' f' ist die erste Projection der Curve, in welcher die schiefe Kegelfläche von dem vollen cylindrischen Bogen, dessen Aufriss Fig. 184. vorstellt, durchdrungen wird.

Um Figur 185. zu construiren, werde zuerst der Aufriss Fig. 184. angefertigt. Alsdann trage man die Höhe der Mauer auf die Linie A' S von A' nach P, indem man A' $G = m''$ n'' Fig. 184, G $L = o''$ p'', L $N = q''$ r'' und N $P = s''$ t'' macht. Hierauf ziehe man die geraden Linien G H, L M, N O und P Q parallel mit der Linie A' B'; diese Linien schneiden die Achse i' S in den Punkten i_2, i_3, i_4, i_5, welches sonach die Mittelpunkte der untersten Kreisbogen der vier horizontalen Steinschichten sind, aus welchen die Mauer besteht, und deren Radien die Längen i_2 H, i_3 M, i_4 O und i_5 Q vorstellen. Wenn man daher aus den Punkten i_2, i_3, i_4 und i_5 gerade Linien i_2 i_2', i_3 i_3', i_4 i_4' und i_5 i_5' parallel mit der Linie S A' construirt, so sind die Punkte i', i_2', i_3', i_4', i_5' die Projectionen der Mittelpunkte jener Kreisbogen.

Man beschreibe nun aus dem Punkte i', mit der Länge i' B',

den Kreisbogen B′ R′; aus i_2', mit der Länge i_2 *H*, den Kreisbogen T_2' *T*′; aus i_3' mit i_3 *M* den Kreisbogen U_2' *U*′; aus i_4' mit i_4 *O* den Kreisbogen V_2' *V*′; und endlich aus i_5' mit i_5 Q den Kreisbogen W_2' *W*′; diese excentrischen Kreisbogen sind alsdann die ersten Projectionen der verschiedenen horizontalen Steinschichten der Mauer.

Die erste Projection der Durchschnittslinie der schiefen Kegelfläche und des cylindrischen Gewölbes wird sodann erhalten, wenn man den Halbkreis *a*″ *b*″ *c*″ *d*″ *g*″ *e*″ *f*″ Fig. 184. als die zweite Projection dieser Durchschnittslinie ansieht, den Punkt *a*″ nach *a*′, und *f*″ nach *f*′ auf den Kreisbogen *R*′ *B*′ projicirt. Wenn man ferner die Leibungshöhe *b*″ b^0 des Punktes *b*″ auf die Höhe A′ S von A′ nach E trägt, durch diesen Punkt die Linie E F parallel A′ B′ construirt, den Durchschnittspunkt *k* der Linien *i*′ S und E F nach *k*′ auf die Linie A′ B′ projicirt, und aus diesem Punkte *k*′, mit der Länge K F als Radius, den Kreisbogen *b*′ *e*′ construirt: so stellt derselbe die erste Projection des Kreisbogens vor, in welchem die Punkte *b* und *e* liegen. Wenn man daher den Punkt *b*″ nach *b*′ und *e*″ nach *e*′ auf diesen Kreisbogen projicirt, so sind die Punkte *b*′ und *e*′ zwei Punkte der verlangten Durchschnittslinie. In eben der Art werden die Punkte *c*′, *d*′ u. s. f. gefunden.

Fig. 186. zeigt die abgewickelte Leibungsfläche des schiefen cylindrischen Bogens, so wie auch noch die ausgetragenen Lagerfugen desselben. Diese Figur wird eben so erhalten, wie bei Erklärung der Fig. 181. gezeigt worden ist.

§. 91.

In dem Bisherigen wurde vorausgesetzt, dass die Länge des cylindrischen Gewölbes, gemessen in der Richtung der Achse, von einem einzigen Stein eingenommen werden könne; wobei also Stossfugen der Gewölbsteine gar nicht vorkommen können. Wenn dagegen die Länge des Gewölbes so bedeutend ist, dass die Länge eines einzigen Steins nicht mehr ausreichend ist, so wird jede Gewölbschicht aus mehreren Steinen gebildet, welche mit ihren Stirnenden stumpf gegen einander gestossen werden. Die Stossfugen müssen aber gehörig wechseln, damit die Steine einen regelrechten Verband erhalten. Der mittlere Theil des in

Figur 189. Tafel XI. dargestellten cylindrischen Gewölbes zeigt die Art und Weise dieser Verbindung. Die verschiedenen Gewölbsteine sind hier entweder gleich lang, und werden alsdann so verlegt, dass die Stossfuge der einen Schicht auf die Mitte des Steins der nebenliegenden Schicht trifft; oder die Länge der Steine ist verschieden, in welchem Falle ein kurzer Stein mit einem längeren in ein und derselben Steinschicht in der Art wechselt, dass die Mitte des kleineren Steins genau auf die Mitte des grösseren Steins der nebenliegenden Steinschicht trifft.

Wenn die Länge des cylindrischen Gewölbes durch einen einzigen Stein nicht mehr eingenommen werden kann, so nennt man dasselbe nicht mehr Gewölbebogen, sondern Tonnengewölbe.

§. 92.

Wenn die Häupter eines Tonnengewölbes eine schiefe Lage gegen die Richtung der Widerlager des Gewölbes haben, so ist die Construction desselben mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft. Es sei z. B. Fig. 189. $i' i_2'$ die Richtung eines Stromes, und $A' B'$ oder $C' D'$ sei die Richtung der Strasse, in welcher ein schiefes Brückengewölbe über den Strom angeordnet werden soll. Construirt man hier aus dem Punkte i_2' eine Normale $i_2' i_3'$ auf die Linie $k' k_2'$, und lässt man die Leibungsfugen in gerader Richtung parallel mit dem Widerlager bis an beide Häupter heranreichen, wie in Fig. 157. geschah, so mangelt dem dreieckförmigen Gewölbtheile $i_2' i_3' k_2'$ auf der einen Seite das Widerlager gänzlich. Weshalb denn auch sehr oft dieser Theil des Gewölbes von dem mittleren Gewölbe sich trennt, und dadurch den Einsturz des Gewölbes herbeiführt. Ist die Länge $k_2' i_3'$ Fig. 189. kleiner oder gleich der halben Länge eines Gewölbsteins, so dass also derselbe noch mit seiner halben Länge in den mittleren normalen Gewölbtheil eingreift, so wird zwar die in Fig. 157. gegebene Construction noch zulässig sein; fehlerhaft ist sie aber jedenfalls, wenn $k_2' i_3'$ Fig. 189. grösser als die halbe Länge eines Steins ist.

Hier in Fig. 189. ist das Dreieck $i_2' k_2' i_3'$ so bedeutend, dass die Leibungsfugen nicht in gerader Richtung bis an die Häupter reichen durften; sie sind deshalb in der Nähe der Häupter in

der Art gebrochen worden, dass die Richtung derselben auf den schiefen Häuptern normal steht.

Die Construction dieses schiefen Gewölbes ist folgende:

Es wird zunächst der normale Querschnitt Fig. 187. dieses Gewölbes construirt; alsdann werden die Punkte a'', b'', c'', d'', e'', f'' u. s. f. auf die Durchschnittslinie $O' P'$ Fig. 189. projicirt, und durch die erhaltenen Punkte a', b', c', d', e', f' u. s. f. gerade Linien parallel mit der vorgeschriebenen Richtung der Achse des Gewölbes gezogen. Wird ein Cylinder durch eine Ebene geschnitten, welche gegen die Achse desselben eine geneigte Lage hat, so ist die Durchschnittslinie eine Ellipse; und es ist sonach der äussere Bogen jedes schiefen Hauptes ein elliptischer Bogen. Diese Ellipse construirt man aus ihren Achsen; die Länge $i' k'$ oder $i_2' k_2'$ ist die grosse Achse, und der Radius $M'' a''$ des normalen Cylinders die kleine Achse dieser Ellipse. Ist der elliptische Bogen construirt, so theile man denselben in eben so viel gleicher Theile, als der Halbkreis des normalen Querschnittes Figur 187. eingetheilt worden ist. Sollten aber die Steine des schiefen Hauptes bei dieser Eintheilung zu gross ausfallen, so theile man den elliptischen Bogen so ein, dass jeder Theil ziemlich genau so gross wird; als jeder Theil $a'' b''$, $b'' c''$, $c'' d''$, $d'' e''$ u. s. f. des normalen Bogens Fig. 187. Es wird alsdann das schiefe Haupt einen Stein, oder auch wohl 3 oder 5 Steine mehr erhalten, als der normale Bogen.

Es seien $l_{''}$, $m_{''}$, $n_{''}$, $o_{''}$, $p_{''}$, $q_{''}$ u. s. f. Fig. 188. die Theilpunkte des elliptischen Bogens; ihre Anzahl muss natürlicherweise eine ungerade Zahl sein, damit die Anzahl der Steine ungerade sei. Durch diese Theilpunkte construire man gerade Linien normal auf dem elliptischen Bogen. Für den Punkt $s_{''}$ z. B. wird diese Richtung erhalten, wenn man die Brennpunkte r' und q' der Ellipse ermittelt, die geraden Linien $s_{''} r'$ und $s_{''} q'$ zieht, und den Winkel $r' s_{''} q'$ durch die gerade Linie $\alpha_{''} s_{''} t_{''}$ halbirt. Die Richtung $s_{''} t_{''}$ ist die verlangte Richtung der Normale des Punktes $s_{''}$. Eben so werden die übrigen Normalen erhalten. Sind sämmtliche Normalen construirt, so lege man durch jede eine Ebene, und zwar normal auf der Richtung des schiefen

Hauptes. Diese Ebenen schneiden die Cylinderfläche ebenfalls in elliptischen Bogen, deren Richtungen auf $A'B'$ normal stehen.

Um die ersten Projectionen dieser Schnitte zu erhalten, construire man mehrere gerade Linien $v'u'$, $x'w'$, $z'y'$, $\gamma'\beta'$, $\varepsilon'\delta'$ parallel mit $A'B'$ Fig. 189, und lege durch sie Ebenen parallel mit dem schiefen Haupte. Jede dieser Ebenen schneidet die Cylinderfläche in einer Ellipse, welche congruent der Ellipse $i'\,l_{,,}\,m_{,,}\,n_{,,}\,o_{,,}\,p_{,,}\,q_{,,}\,s_{,,}\,k_{,}$ ist. Diese elliptischen Bogen werden daher erhalten, wenn man den Punkt u' auf die Linie $A'B'$ nach $u_{,,}$ projicirt, den Punkt w' nach $w_{,,}$, y' nach $y_{,,}$, β' nach $\beta_{,,}$ und δ' nach $\delta_{,,}$. Wenn man eben so auf der anderen Seite des Widerlagers den Punkt v' nach $v_{,,}$ projicirt, x' nach $x_{,,}$, z, nach $z_{,,}$, γ' nach $\gamma_{,,}$ und ε' nach $\varepsilon_{,,}$; sodann über den Längen $u_{,,}\,v_{,,}$, $w_{,,}\,x_{,,}$, $y_{,,}\,z_{,,}$, $\beta_{,,}\gamma_{,,}$ und $\delta_{,,}\,\varepsilon_{,,}$ halbe Ellipsen construirt, welche congruent der halben Ellipse $i'\,l_{,,}\,m_{,,}\,q_{,,}\,s_{,,}\,k'$ sind, so schneiden diese jede Lagerfuge des elliptischen Hauptes in Punkten; die Fuge $s_{,,}\,t_{,,}$ z. B. in den Punkten $\varphi_{,,}$, $\pi_{,,}$, $\varrho_{,,}$, $\mu_{,,}$, $\sigma_{,,}$. Diese Punkte projicire man auf die Parallelen $v'u'$, $x'w'$, $z'y'$ u. s. f., und zwar den Punkt $s_{,,}$ nach s', $\varphi_{,,}$ nach φ', $\pi_{,,}$ nach π', $\varrho_{,,}$ nach ϱ', $\mu_{,,}$ nach μ' und $\sigma_{,,}$ nach σ': die durch diese Punkte gelegte Curve ist die verlangte erste Projection des Schnitts, welcher durch die Fuge $s_{,,}\,t_{,,}$ geht. In derselben Weise werden die übrigen Schnitte erhalten.

In sofern die Construction der Ellipse immer unbequem ist, möchte die folgende Construction der Curve $s'\sigma'$ Fig. 189. zweckmässiger sein.

Man construire Seiten des Cylindermantels, und bestimme die Punkte, in welchen diese Seiten von der durch die Linie $s_{,,}\,t_{,,}$ Figur 188. normal auf das schiefe Haupt gedachten Ebene geschnitten werden: diese Durchschnittspunkte sind Punkte der verlangten Curve $s'\sigma'$. Die Seiten des Cylindermantels sind parallel mit der Achse des Cylinders, ihre ersten Projectionen sind daher parallel mit der Kämpferlinie $i'i_2'$; und die zweiten Projectionen sind parallel der Linie $A'B'$. Wenn man daher aus beliebigen Punkten des elliptischen Bogens $k'\,s_{,,}\,i'$ Fig. 188 gerade Linien parallel mit der Linie $A'B'$ construirt, jene Punkte auf die Linie $A'B'$ projicirt, und aus den erhaltenen Punkten Parallelen

zu $i' i_2'$ construirt, so sind dies die Projectionen beliebiger Seiten des Cylindermantels. Und wenn man die Punkte, in welchen die gerade Linie $s_{,,} t_{,,}$ Fig. 188 von den parallel zu A′ B′ construirten Linien geschnitten wird, auf die entsprechenden parallel zu $i' i_2'$ construirten Linien projicirt, so sind dies Punkte der verlangten Curve. Diese Construction der Curve $s' \sigma'$ ist weit zuverlässiger, als die erstere Construction.

Die Figur 188, welche eine Ansicht des schiefen Hauptes vorstellt, zeigt zugleich noch einen Theil der inneren Leibungsfugen des schiefen Tonnengewölbes.

§. 93.

Die Figuren 190, 191, 192 und 193 zeigen eine andere Construction des schiefen Brückengewölbes. Fig. 191 ist der Grundriss, Figur 190 die Ansicht des Hauptes, Figur 192 ein Längendurchschnitt des Gewölbes nach der Linie A′ B′ des Grundrisses, und Fig. 193 eine Ansicht des ganzen Gewölbes von vorn.

Das schiefe Gewölbe besteht aus fünf einzelnen normalen Bogen, deren Häupter stumpf gegen einander stossen, und deren Anfänger, nach Erforderniss der schiefen Richtung, verrückt worden sind. Es müssen deshalb diese Bogen vermittelst durchgehender eiserner Anker mit einander verbunden werden. Diese Anker dürfen nicht durch alle Bogen hindurchreichen, weil sie alsdann zu lang ausfallen würden. Es genügt, wenn die Anker durch je zwei oder je drei Bogen hindurchreichen, um diese fest zusammen zu halten. Die innere Wölbungsfläche dieses schiefen Gewölbes ist keine zusammenhängende cylindrische Fläche, da die hervorstehenden Kanten der einzelnen normalen Bogen diese Fläche brechen, wie aus Fig. 192 und Fig. 193 zu ersehen ist. Es ist deshalb diese Construction des schiefen Tonnengewölbes auch nur bei Ueberbrückungen anzuwenden, wo die unreguläre Form der inneren Wölbungsfläche nicht weiter auffällt, denn sie würde hier nur wahrgenommen werden können, wenn man unter der Brücke sich befände. Bei Ueberbrückungen ist diese Construction des schiefen Gewölbes allen übrigen Constructionen vorzuziehen.

§. 94.

Eine andere Construction des schiefen Tonnengewölbes enthält Tafel XII. — Fig. 195 ist der Grundriss dieses Gewölbes, Fig. 194 die Ansicht des Hauptes, Fig. 197 der Längendurchschnitt nach der Linie $m' t'$ des Grundrisses, Fig. 198 ein normaler Querschnitt nach der Linie $C' D'$, und Fig. 199 ein zweiter normaler Querschnitt nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses. Fig. 196 stellt die Abwickelung der inneren Wölbungsfläche des schiefen Tonnengewölbes vor. Diese Construction ist ebenfalls nur bei Ueberbrückungen anwendbar, und zwar in Fällen, wo $a' a_2'$ Fig. 195 die Richtung eines Stromes, und $u' v'$ die Richtung einer auf den Strom stossenden Strasse vorstellt.

Die Construction dieses Gewölbes ist nun folgende:

1) Aus dem Punkte a' fälle man eine Normale $a' b'$ auf die Richtung $b' d'$, so wie aus d' eine zweite Normale $d' c'$ parallel mit jener.

2) Aus dem Mittelpunkte m' der Linie $a' c$ beschreibe man den Halbkreis $a' q c'$, und denke einen halben normalen Cylinder, dessen Richtungslinie jener Halbkreis, und dessen Höhe gleich $a' b'$ ist.

3) Nachdem man die Längen der Linien $a' i'$, $l' n'$, $e' d'$, $f' h'$ in der Art festgesetzt hat, dass die Richtung der Linien $h' i'$ und $n' e'$ parallel der Richtung des Stromes wird, denke man durch diese letzteren Linien lothrechte Ebenen E und F gelegt, durch welche von jenem normalen Cylinder die Stücke $e' n' l' c'$ und $i' b' f' h'$ abgeschnitten werden.

4) Ziehe man $l' q$ normal auf $a' l'$, und construire über dem mittleren Theile des halben normalen Cylinders, welcher zwischen den lothrechten Ebenen E und F sich befindet, ein normales cylindrisches Gewölbe. Der Construction zufolge kann dies Gewölbe keine symmetrischen Häupter haben, da das eine die Form $a' q' l'$, das andere aber die Form $d' w' f'$ hat. In Fällen, wo diese unregelmässigen Häupter nicht zulässig sind, kann man vermittelst eines Schildbogens dieselben in Spitzbogen verwandeln, wie der Aufriss Fig. 194 zeigt. — $l' k' g' n'$ und $f' p' o' h'$ Figur 195 sind die ersten Projectionen dieser Schildbogen. Diese Schildbogen müssen aber so angelegt werden, dass sie nicht vom

Hochwasser, und noch weniger vom Eisgange erreicht werden können. Sollte dies nicht angehen, so müssen sie entweder fortgelassen werden, oder man construirt sie aus Holz.

In den normalen Querdurchschnitten Fig. 198 und Fig. 199 sind s'' und r'' die Mittelpunkte der inneren Wölbungsbogen, und s_2'', r_2'' die Mittelpunkte der Oberbogen. Die Curve $x'''\,z'''\,y'''$ Fig. 197 stellt den elliptischen Bogen vor, in welchem der normale Cylinder von den lothrechten Ebenen E und F geschnitten wird. Oberhalb dieses elliptischen Bogens beginnt die Wölbungsfläche, unterhalb desselben ist der Raum $m'''\,x'''\,z'''\,y'''$ eine lothrechte Ebene.

Fig. 200 stellt den Anfänger dieses Gewölbes vor, denselben in der schiefen Projection gezeichnet;

Fig. 201 den Stein zur Seite des Anfängers;

Fig. 202 den Stein zunächst über dem Anfänger, und

Fig. 203 endlich den Schlussstein.

Drittes Kapitel.

Von den conischen Gewölben.

§. 95.

Unter conischen Gewölben versteht man diejenigen Gewölbe, deren innere Wölbungsfläche eine kegelförmige Fläche ist. Die Richtungslinie dieser Wölbungsfläche ist entweder ein voller Kreis, oder ein Halbkreis, oder eine beliebig offene Curve, welche in verticaler, oder in horizontaler Lage sich befindet, je nachdem die Achse der Kegelfläche eine horizontale oder eine verticale Richtung hat. In dem gegenwärtigen Kapitel werden wir uns jedoch auf diejenigen conischen Gewölbe beschränken, deren Achse horizontal ist. Die conischen Gewölbe zerfallen überhaupt in zwei Abtheilungen, nämlich:

1) in solche, deren innere Wölbungsfläche einen abgekürzten Kegelmantel oder irgend einen beliebigen Theil desselben bildet;
2) in solche Gewölbe, deren innere Wölbungsfläche entweder einen vollen normalen Kegelmantel, oder einen beliebigen Tl.eil desselben bildet; welcher hervorgeht, wenn eine Ebene den normalen Kegel in Seiten schneidet.

§. 96.

Es sei Fig. 205 Tafel XIII. der Grundriss eines conischen Gewölbes der ersteren Art; die innere Wölbungsfläche bilde einen abgekürzten normalen Kegelmantel, dessen Spitze der Punkt s' ist.

Fig. 204 sei der Aufriss dieses Gewölbes, und Fig. 206 der Längendurchschnitt nach der Richtung der Achse.

In Fig. 207 haben wir die innere Wölbungsfläche abgewickelt. Hierzu bedarf man des Winkels ω, welchen die Wölbungsfläche an der Spitze s des Kegels bildet. Diesen Winkel zu berechnen, dient die Proportion

$\omega : 360 = \varrho\pi : 2 \cdot n'f' \cdot \pi$, wenn ϱ die Länge $n''f''$ Fig. 204 bezeichnet, welche den Radius der Grundebene des Kegels vorstellt, und $n'f'$ Fig. 205 die Seite des Kegels bezeichnet.

Aus jener Proportion ist

$$\omega = \frac{\varrho}{n'f'} \cdot 180^0$$

Diesen Winkel trage man vermittelst eines Transporteurs an den Punkt (n) Fig. 207, mache (n) (f) gleich $n'f'$ Fig. 205, und construire aus (n) den Kreisbogen (f) (a). Man mache ferner (n) (m) gleich $n'm'$ und construire den Bogen (m) (g): die Figur (a) (f) (m) (g) stellt alsdann die abgewickelte innere Wölbungsfläche vor. Man theile endlich den Bogen (a) (f) in so viel gleicher Theile, als das kegelförmige Gewölbe Steinschichten hat, deren hier fünf vorhanden sind. Dies gebe die Punkte (b), (c), (d), (e). Aus der Spitze (n) ziehe man nach diesen Punkten gerade Linien (b) (h), (c) (i), (d) (k), (e) (l), und construire über jeder das Trapez der zugehörigen Lagerfuge: damit erhält man die ausgetragenen Lagerfugen.

Figur 208 zeigt den Anfänger dieses Gewölbes, Figur 209 den zweiten Stein von unten, und endlich Figur 210 den Schlussstein.

§. 97.

Figur 212 ist der Grundriss eines conischen Gewölbes, welches in einer von zwei Mauern gebildeten Ecke angebracht ist. Die Achse dieses Gewölbes ist horizontal, und die Richtungslinie vertical. Die innere Wölbungsfläche bildet einen vollständigen halben normalen Kegelmantel, dessen Spitze der Punkt m' ist. Sämmtliche Lagerfugen des Gewölbes nehmen ihre Richtung nach der Spitze m', deshalb werden die Gewölbsteine vorn im Haupte eine grössere Stärke haben müssen, als dies in einem der Spitze m' näher liegenden Querschnitte der Fall ist. Sie würden hier in m' sogar in einer scharfen Kante endigen müssen, wenn man nicht die Anordnung träfe, diese scharfen zerbrechlichen Kanten durch das sogenannte Auge abzustumpfen, dessen zweite Projection die Figur $g''h''i''k''l''n''$ Fig. 211 vorstellt. Dies Auge befindet sich an einem der Ecksteine der zwei zusammenstossen-

den Mauern, wie aus dem Grundriss Fig. 212 und dem Längendurchschnitt Fig. 213, welcher nach der Linie $n_3' m_2'$ des Grundrisses genommen, zu ersehen ist.

Den Anfänger dieses Gewölbes stellt Figur 214 vor, und Figur 215 den Schlussstein.

§. 98.

Figur 217 ist der Grundriss, Figur 216 der Aufriss, und Figur 218 der Längendurchschnitt eines in der Ecke zweier zusammenstossenden Mauern angebrachten conischen Gewölbes, welches in seiner Construction von dem vorigen Gewölbe nur darin verschieden ist, dass die Gewölbsteine, wegen der grösseren Tiefe, durch Stossfugen getheilt werden. Diese Stossfugen sind mit dem Haupte des Gewölbes parallel, und es müssen deshalb die Linien, in welchen die innere Wölbungsfläche von den Stossfugen geschnitten wird, Kreisbogenstücke sein, welche parallel der Richtungslinie der kegelförmigen Wölbungsfläche sind.

§. 99.

Fig. 220 ist der Grundriss, Fig. 219 der Aufriss, Fig. 221 die Ansicht des einen Hauptes von einem conischen Gewölbe, welches in der Ecke zweier sich schneidenden Mauern angebracht ist, und dazu dient, die Verlängerungen zweier anderen Mauern zu stützen. Fig. 222 ist der Längendurchschnitt nach der Linie $s' f'$ des Grundrisses. Die Linien $s' a'$ und $s' n'$ sind die Projectionen der Aussenseiten derjenigen Mauern, in deren Ecke das conische Gewölbe beginnt; $a' f_2'$ und $n' f_3'$ sind dagegen die Projectionen der Aussenseiten zweier anderen Mauern, welche mit den ersteren in irgend einer Weise Zusammenhang haben, und deren Verlängerungen bis zu ihrer Begegnung in f' durch das conische Gewölbe gestützt werden sollen. Die Construction dieser Figuren ist folgende:

Man ziehe die Linie $s' f'$ Fig. 220; diese Linie ist die Achse des conischen Gewölbes.

Auf $s' f'$ construire man die Linie f' x normal, und verlängere $s' a'$ bis zu ihrer Begegnung x mit der Linie f' x: das Dreieck $s' f'$ x stellt dann das Dreieck vor, durch dessen Umdrehung die Kegelfläche beschrieben wird. Hierauf ziehe man die Linie $n' a'$, und betrachte dieselbe als die erste Projection

der Richtungslinie der Kegelfläche. Die zweite Projection dieser Richtungslinie wird alsdann erhalten, wenn man mit $m'a'$ als Radius aus dem Punkte s'' Fig. 219 den Kreisbogen $n'' n_2'' n_3'' n_4'' n_5''$ u. s. f. beschreibt. Diesen Kreisbogen theile man in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, und verbinde jeden dieser Theilpunkte mit der Spitze s'' durch gerade Linien, so stellen diese die zweiten Projectionen der inneren Leibungsfugen vor. Um die ersten Projectionen dieser Leibungsfugen zu erhalten, projicire man den Punkt n_2'' Fig. 219 auf die Linien $n'a'$ nach n_2' Fig. 220, den Punkt n_3'' nach n_3', n_4'' nach n_4', n_5'' nach n_5', n_6'' nach n_6' u. s. f.; verbinde sodann diese Punkte mit s' durch gerade Linien, und verlängere dieselben bis zur Linie $a'f'$ oder $n'f'$: diese so erhaltenen Linien sind die ersten Projectionen der inneren Leibungsfugen. Um die zerbrechlichen dünnen Kanten der Gewölbsteine zu beseitigen, construire man das Auge, dessen zweite Projection die Figur $u'' e_2'' v''$ Fig. 219 vorstellt; projicire dann den Punkt u'' nach u', und ziehe $u'v'$ parallel $a'n'$; die Figur $u'v's'$ ist die erste Projection des Auges.

Die Curven $a''f''$ und $n''f''$ Fig. 219 werden nun erhalten, wenn man im Punkte s'' eine Normale $s''f''$ auf $a''n''$ construirt, und diese mit f' x Fig. 220 gleich lang macht. Dies giebt den Punkt f''. Die übrigen Punkte zu erhalten, projicire man den Punkt e' auf die Linie $e_2'' n_6''$ nach e'', den Punkt d' nach d'', c' nach c'' und b' nach b'': durch diese Punkte wird die Curve a'' b'' c'' d'' e'' f'' bestimmt. Eben so werden Punkte der Curve $n''f''$ erhalten. Sind die einzelnen Gewölbschichten so lang, dass sie aus einem einzigen Steine nicht angefertigt werden können, so ordnet man in jeder Schicht Stossfugen an. Die inneren Leibungsfugen dieser Stossfugen müssen mit der Richtungslinie der Wölbungsfläche eine parallele Richtung haben; es sind daher ihre ersten Projectionen parallel der Linie $a'n'$, und die zweiten Projectionen sind concentrische Kreisbogen zum Mittelpunkte s''. Diese Fugen werden daher erhalten, wenn man zunächst ihre ersten Projectionen in passenden Entfernungen festsetzt. Ist z. B. $\alpha'\beta'$ Fig. 220 die erste Projection einer Stossfuge, so verlängere man die Linie $\beta'\alpha'$ bis z in der Linie s' x, und beschreibe mit der Länge m_3' z aus dem Punkte s'' den Kreisbogen $\alpha''\beta''$: dieser

Bogen stellt die zweite Projection der Leibungsfuge vor, deren erste Projection die Linie $\alpha' \beta'$ ist. Eben so werden die Projectionen der übrigen Stossfugen erhalten.

Fig. 221 stellt das eine Haupt des conischen Gewölbes vor. Diese Figur wird erhalten, wenn man in den Punkten o', i', h', g' und f' gerade Linien normal auf $n' f'$ construirt; wenn man ferner aus den Punkten o'', i'', h'', g'' und f'' Normalen auf $s'' n''$ fällt, und die Höhen $o' o_{,,}$, $i' i_{,,}$, $h' h_{,,}$, $g' g_{,,}$ und $f' f_{,,}$ mit diesen Normalen beziehlich gleich lang macht: so erhält man dadurch die Punkte $o_{,,}$, $i_{,,}$, $h_{,,}$, $g_{,,}$, $f_{,,}$, durch welche die Curve $n'' f_{,,}$ gelegt werden kann.

Die Richtung der Lagerfugen geht durch die Achse des Kegels; es müssen deshalb die Fugen des Hauptes im Punkte f' sich schneiden.

Der Längendurchschnitt Fig. 222, welcher nach der Linie $s' f'$ des Grundrisses genommen ist, wird endlich erhalten, wenn man die Punkte g', h', i', o' und n' auf die Linie $s' f'$ nach g_2', m_3', i_2', o_2' und m' Fig. 220 projicirt; alsdann in Fig. 222 die Länge

$$s''' n''' = s' m' \text{ Fig. 220,}$$
$$s''' o_2 = s' o_2',$$
$$s''' i_2 = s' i_2',$$
$$s''' h_2 = s' m_3',$$
$$s''' g_2 = s' g_2',$$

und endlich $s''' f_2 = s' f'$ macht. Wenn man ferner in den Punkten o_2, i_2, h_2, g_2 und f_2 Normalen auf der Linie $s''' f_2$ construirt, und dieselben mit den entsprechenden Höhen $o' o_{,,}$, $i' i_{,,}$, $h' h_{,,}$, $g' g_{,,}$ und $f' f_{,,}$ Fig. 221 gleich lang macht, so erhält man die Punkte o''', i''', h''', g''' und f'''. Wenn man endlich noch diese Punkte mit der Spitze s''' durch gerade Linien verbindet, und die Curve $n''' f'''$ construirt, die Projectionen der Stossfugen und des Auges auf gleichem Wege ermittelt, so erhält man die verlangte Figur.

§. 100.

Auf Tafel XIV. sei Fig. 224 der Grundriss, Fig. 223 der Aufriss, und Fig. 225 der Längendurchschnitt eines conischen Gewölbes, welches in der Ecke zweier sich schneidenden Mauern angebracht ist, und im Uebrigen mit dem im vorigen Paragra-

phen beschriebenen Gewölbe, mit Ausnahme des Hauptes, übereinstimmt. Das Haupt dieses Gewölbes bildet nämlich eine normale Cylinderfläche; wogegen das Haupt des vorigen Gewölbes eine gebrochene Ebene bildet.

Alle Constructionen dieser Figuren sind übrigens dieselben wie beim vorigen Gewölbe.

§. 101.

Fig. 227 ist der Grundriss einer hervorspringenden conischen Kernwölbung in runder Wendung auf einer geraden Mauer. Fig. 226 der Aufriss dieses Gewölbes, und Fig. 228 der Durchschnitt nach der Linie $m_2' v'$ des Grundrisses. $A' B'$ sei die erste Projection der Aussenseite der Mauer, worauf die Kernwölbung sich befindet, und $A'' B''$ sei die zweite Projection derselben.

Der untere Theil dieses Gewölbes ist conisch, der obere Theil aber eine cylindrische Fläche. Dasselbe dient zur Unterstützung eines Balcons, oder eines runden Thurmes, oder irgend eines andern Vorbaues. Die Construction dieses Gewölbes ist folgende:

Aus dem Punkte m_2' Fig. 227 beschreibe man den Kreisbogen $a' v' h'$ der Grösse des Vorbaues entsprechend, und betrachte denselben als die erste Projection der Richtungslinie des Gewölbes. Die zweite Projection der Richtungslinie mag ein Halbkreis sein, welcher in verticaler Lage sich befinde, und daher erhalten wird, wenn man den Punkt a' Fig. 227 nach a'' auf die Linie $A'' B''$ Fig. 226 projicirt, den Punkt h' nach h'', m' nach m'', und aus diesem letzteren Punkte den Halbkreis $a'' v'' h''$ beschreibt. Diesen Halbkreis theile man in so viel gleicher Theile, als man Gewölbsteine im Haupte haben will. Dies gebe die Punkte b'', c'', d'', e'', f'' und g''. Hierauf setze man die Grösse des Auges, welches hier Kern genannt wird, in der Art fest, dass die einzelnen Gewölbsteine in der Nähe desselben nicht zu dünn ausfallen, und beschreibe den Halbkreis $n'' s'' w''$ als Begrenzung des Kerns. Man ziehe ferner aus den Theilpunkten b'', c'', d'' u. s. f. gerade Linien $b'' i''$, $c'' x''$, $d'' y''$ u. s. f., deren Richtung durch den Mittelpunkt m'' geht; diese Linien sind die zweiten Projectionen der Leibungsfugen. Die ersten Projectionen dieser Fugen werden nun erhalten, wenn man die Kreisbogen $o'' t'' q''$ und p''

$u'' r''$ beliebig annimmt, den Punkt n'' nach n' projicirt, o'' nach o' und p'' nach p'. Wenn man ferner aus dem Mittelpunkte m_2' die Kreisbogen $n' s' w'$, $o' t' q'$ und $p' u' r'$ construirt, den Punkt i'' auf das Kreisbogenstück $n' w'$ nach i' projicirt, den Punkt k'' nach k', l'' nach l' und b'' nach b': die durch die erhaltenen Punkte construirte Curve $i' k' l' b'$ Fig. 227 ist die erste Projection derjenigen Leibungsfuge, deren zweite Projection die gerade Linie $i'' b''$ ist. Eben so werden die ersten Projectionen der übrigen Leibungsfugen erhalten.

Das Kreisbogenstück $n' s' w'$ stellt hier die Projection desjenigen Bogens vor, welcher das Auge oder den sogenannten Kern von dem übrigen Gewölbe abgränzt.

Es ist hier angenommen worden, dass jede Steinschicht des Gewölbes aus einem einzigen Stein construirt werden könne, was bei kleinen Dimensionen des Gewölbes immer möglich ist. Sollten jedoch die Steine zu lang ausfallen, so kann man in jeder Steinschicht eine oder mehrere Stossfugen anordnen. Die zweiten Projectionen dieser Stossfugen sind alsdann Kreisbogenstücke, deren Mittelpunkt der Punkt m'' Fig. 226 ist; und die ersten Projectionen sind ebenfalls Kreisbogenstücke, deren Mittelpunkt der Punkt m_2' Fig. 227 ist.

Der Durchschnitt Fig. 228, welcher nach der Linie $m_2' v'$ des Grundrisses gedacht ist, wird erhalten, wenn man

$m_2''' m''' = m_2' m'$ Fig 227,
$m_2''' s_2 = m_2' s'$,
$m_2''' t_2 = m_2' t'$,
$m_2''' u_2 = m_2' u'$,
$m_2''' v_2 = m_2' v'$ macht,

sodann in den Punkten s_2, t_2, u_2 und v_2 gerade Linien normal auf $m_2''' v_2$ Fig. 228 construirt, und diese beziehlich gleich lang macht mit den Linien $m'' s''$, $m'' t''$, $m'' u''$ und $m'' v''$ Fig. 226: die Curve $m''' s''' t''' u''' v'''$, welche durch die gefundenen Punkte gelegt wird, stellt den Durchschnitt der conischen Kernwölbung vor.

Fig. 229 zeigt die Form der ausgetragenen oberen Lagerfuge des Steins über dem Anfänger. Diese Figur wird erhalten, wenn man $(m_3)(m_8) = z'' z_5''$ Fig. 226 macht,

$(m_3)(m_4) = z'' z_2''$,

$(m_3)(m_5) = z'' z_3''$,
$(m_3)(m_6) = z'' f''$,
und $(m_3)(m_7) = z'' z_4''$;

wenn man sodann in den erhaltenen Punkten gerade Linien normal auf der Linie $(m_3)(m_8)$ construirt, und von diesen

$(m_3)(z) = m_3' z'$ Fig. 227 macht,
$(m_4)(z_2) = m_4' z_2'$,
$(m_5)(z_3) = m_5' z_3'$,
$(m_6)(f) = m_6' f'$
$(m_7)(z_4) = m_7' z_4'$
$(m_8)(z_5) = m_8' z_5'$, und endlich

die Punkte (z) (z_2) (z_3) (f) durch eine entsprechende Curve verbindet: diese krumme Linie (z) (f) stellt die wirkliche Form der Leibungsfuge vor, deren zweite Projection die Linie $z'' f''$ ist. Verbindet man endlich die drei Punkte (f) (z_4) (z_5) durch eine Curve, so stellt diese den elliptischen Bogen vor, in welchem die in Rede stehende Lagerfuge den cylindrischen Theil dieses Gewölbes in der Aussenseite, d. i. in dem cylindrischen Haupte, schneidet. — In derselben Art werden alle übrigen Lagerfugen ausgetragen. —

Die Bearbeitung der Steine dieses Gewölbes kann nur nach Schablonen geschehen; es ist deshalb nöthig, dass alle Schablonen des Umfanges eines Steins angefertigt werden.

§. 102.

Fig. 231 ist der Grundriss einer hervorspringenden conischen Kernwölbung, welche unter dem Namen „conische Kernwölbung auf der abgestutzten Seite“ bekannt ist.

Fig. 230 ist der Aufriss dieses Gewölbes, Fig. 232 das Haupt der einen Seite und Fig. 233 das der anderen Seite. — Bei der Wendung enger Strassen, wo die Passage so behindert ist, dass Wagenklemmen daraus hervorgehen, kann man genöthigt sein, zur Erleichterung der Passage, von diesem Gewölbe Gebrauch zu machen; weil dasselbe gestattet, die Ecke eines Hauses bis auf eine gewisse Höhe lothrecht abzuschneiden. Auch zur Unterstützung eines Balcons oder irgend eines andern Vorbaues kann diese Gewölbeconstruction angebracht werden.

Man construirt dies conische Kerngewölbe in folgender Art:

Die Linie $a' i'$ Fig. 231 sei die erste Projection der lothrechten Ebene, durch welche die Ecke $a' e' i'$ des Gebäudes abgeschnitten wird. Die Längen $a' e'$ und $i' e'$ seien ungleich. Ueber der Linie $a' e'$ construire man irgend eine steigende Curve $a' e_{,,}$ Fig. 232, deren Höhe $e' e_{,,}$ anderthalb bis zweimal grösser ist als ihre Basis $a' e'$. Diesen Bogen theile man sodann in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, nehme $e_{,,} d_{,,}$ gleich gross mit dem einen dieser Theile; $d_{,,} b_{,,}$ und $b_{,,} a_{,}$ u. s. f. aber doppelt so gross. Hierauf construire man über $i' e'$ einen zweiten steigenden Bogen $i' e_{,,}$ Fig. 233, welcher mit $a' e_{,,}$ in den entsprechenden Punkten gleiche Höhe erhält, indem man die Linien $b_{,,} b'$ und $d_{,,} d'$ normal auf $a' e'$ construirt, $b' h'$ und $d' f'$ parallel $a' i'$ zieht, in den Punkten h', f' und e' gerade Linien $h' h_{,,}$, $f' f_{,,}$, $e' e_{,,}$ normal auf $i' e'$ construirt, und $h' h_{,,}$ gleich $b' b_{,,}$, $f' f_{,,}$ gleich $d' d_{,,}$ und $e' e''$ Fig. 233 gleich $e' e_{,,}$ Figur 232 macht. Die Curve $i' h_{,,} f_{,,} e_{,,}$ Fig. 233 ist die verlangte.

Der Bogen $a' e''$ Fig. 232 sei die Richtungslinie der cylindrischen Wölbungsfläche, und $a' i'$ die Parallele derselben. Es geht dann die Wölbungsfläche dieser Kernwölbung hervor, wenn man die gerade Linie $a' i'$ auf den beiden Curven $a' e_{,,}$ Fig. 232 und $i' e_{,,}$ Fig. 233 in der Art fortbewegt, dass jede neue Lage parallel der ersteren ist. Der Punkt e im Raum ist dann der höchste Punkt der cylindrischen Wölbungsfläche.

Um die zweite Projectionsebene festzusetzen, halbire man die Linie $a' i'$ Fig. 231 in α' und ziehe $\alpha' e'$; normal auf der Richtung $\alpha' e'$ nehme man die zweite Projectionsebene an, und die Linie AB als Achse derselben.

Auf die Linie AB projicire man die Punkte a' nach a'', e' nach e^0, b' nach b^0 und d' nach d^0; errichte in den Punkten b^0, d^0 und e^0 Normalen auf AB, und mache $b^0 b''$ gleich lang mit $b' b_{,,}$, $d^0 d''$ gleich $d' d_{,,}$ und $e^0 e''$ gleich $e' e_{,,}$. Die Punkte a'', b'', d'' und e'' sind Punkte der zweiten Projection der Richtungslinie des Gewölbes. (Bei unserer Construction fiel der Punkt d^0 in den Punkt x'', deshalb ist d^0 in der Figur nicht angegeben worden.) — Eben so werden die Punkte i'', h'' und f'' erhalten. Die zweiten Projectionen der Leibungsfugen werden nun erhalten, wenn man aus dem Punkte e^0 nach den Punkten b'', d'', f''

Projectionen der Punkte β und k dieser Fuge. — Die Bearbeitung der Steine dieser Kernwölbung geschieht am füglichsten nach Schablonen; es ist deshalb nothwendig, dass sämmtliche Lagerfugen ausgetragen werden.

Fig. 237 stellt die ausgetragene Lagerfuge des Schlusssteins vor. Diese zu construiren ziehe man CD parallel mit der Linie AB, und construire die Linien $q' q_3'$, $c' c_3'$, $\alpha' \alpha_3'$, $\beta' \beta_3'$ und $k' k_3'$ normal auf CD. Sodann mache man die Länge $(q_2)(k_2)$ Figur 237 gleich $q'' k''$ Fig. 234,

$(q_2)(c_2) = q'' c''$,

$(q_2)(\alpha_2) = q'' \alpha''$

und $(q_2)(\beta_2) = q'' \beta''$,

construire in den Punkten (q_2), (c_2), (α_2), (β_2) und (k_2) gerade Linien normal auf $(q_2)(k_2)$, und mache $(q_2)(q)$ gleich $q_2' q'$ Figur 235, $(q_2)(q_3)$ gleich $q_2' q_3'$, $(c_2)(c)$ gleich $c_2' c'$ und $(c_2)(c_3)$ gleich $c_2' c_3'$, $(\alpha_2)(\alpha)$ gleich $\alpha_2' \alpha'$ und $(\alpha_2)(\alpha_3)$ gleich $\alpha_2' \alpha_3'$, $(\beta_2)(\beta)$ gleich $\beta_2' \beta'$ und $(\beta_2)(\beta_3)$ gleich $\beta_2' \beta_3'$, $(k_2)(k)$ gleich $k_2' k'$ und $(k_2)(k_3)$ gleich $k_2' k_3'$; verbinde die Punkte (q) und (c) durch eine gerade Linie, (c), (α), (β) und (k) aber durch eine entsprechende Curve. Dasselbe geschehe mit den Punkten (q_3), (c_3), (α_3), (β_3) und (k_3). Die hervorgehende Figur ist die verlangte.

Viertes Kapitel.

Von den sphärischen und sphäroidischen Gewölben. (Kuppelgewölbe.)

§. 104.

Man denke einen Halbkreis und bewege denselben um seinen Durchmesser; die hervorgehende Umdrehungsfläche heisst eine sphärische Fläche. Der Mittelpunkt des Halbkreises ist der Mittelpunkt der sphärischen Fläche.

Wird eine sphärische Fläche von einer Ebene geschnitten, so ist die Durchschnittsfigur ein Kreis. Derselbe heisst ein grösster Kreis, wenn die Ebene durch den Mittelpunkt der sphärischen Fläche geht; kleinerer Kreis aber, wenn die schneidende Ebene nicht durch den Mittelpunkt der Fläche geht.

Gewölbe, deren innere Wölbungsflächen sphärische Flächen sind, heissen sphärische Gewölbe oder Kuppelgewölbe.

§. 105.

Man denke eine Ellipse, deren eine Achse in verticaler Lage sich befindet. Den elliptischen Bogen denke man um diese verticale Achse rings herum gedreht, die hervorgehende Umdrehungsfläche heisst eine ellipsoidische Fläche. Die Umdrehungsfläche heisst eine Paraboloide, wenn die erzeugende Curve eine Parabel ist; Hyperboloide heisst sie, wenn die erzeugende Curve eine Hyperbel ist. Elliptische, paraboloidische und hyperboloidische Flächen werden auch sphäroidische Flächen genannt.

Wird die sphäroidische Fläche durch eine Ebene geschnitten, welche auf der Umdrehungsachse normal steht, so ist die Durchschnittsfigur ein Kreis; und geht die schneidende Ebene durch die Umdrehungsachse, so ist die Durchschnittsfigur der sphäroidischen Fläche congruent der erzeugenden Linie. Gewölbe, deren innere Wölbungsflächen sphäroidisch sind, heissen sphäroidische Gewölbe oder auch Kuppelgewölbe.

Der Rücken des sphärischen oder sphäroidischen Gewölbes ist entweder eine sphärische, oder eine sphäroidische Fläche, welche von der inneren Wölbungsfläche gleich weit entfernt ist oder nicht. Beide Umdrehungsflächen haben einerlei Umdrehungsachse.

Die Anordnung der Gewölbsteine der sphärischen oder sphäroidischen Gewölbe geschieht in der Art, dass dieselben ringsherumlaufende Reihen bilden, welche zwischen parallelen und horizontalen Ebenen sich befinden, und deren Lagerfugen hinreichend erweitert gedacht, die Umdrehungsachse in einem, oder in verschiedenen Punkten schneiden, und die daher in der Fläche eines abgekürzten Kegelmantels liegen. Die Stossfugen haben stets eine verticale Richtung, und befinden sich in verticalen Ebenen, welche in der Umdrehungsachse der Wölbungsfläche sich schneiden, sofern die Umdrehungsachse eine verticale Richtung hat. Wenn aber die Umdrehungsachse der Wölbungsfläche eine horizontale Lage hat, so wird sie von den Ebenen der verticalen Stossfugen in verschiedenen Punkten geschnitten.

§. 106.

Das Kuppelgewölbe wird, wie das Tonnengewölbe, bis auf $\frac{2}{3}$ seiner Höhe hintermauert, indem man die Mauern, welche als Widerlager dienen, bis zu der erwähnten Höhe hinauf führt. Aeusserlich wird diese Hintermauerung von oben herab nach einer schrägen Linie treppenartig gebrochen.

Nach antiken Gewölben erhält das Kuppelgewölbe im Scheitel $\frac{1}{30}$ seiner lichten Weite zur Stärke. Die Dicke des Widerlagers ist $4\frac{1}{3}$ mal grösser, also $\frac{1}{7}$ der lichten Weite.

Werden dem Kuppelgewölbe noch besonders schwere Constructionstheile aufgebürdet, wie etwa bei der Kuppel mit einem Tambour, so muss das Widerlager um $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ stärker gemacht werden, als jene Verhältnisszahl angiebt.

Das antike Kuppelgewölbe des Pantheon zu Rom hat $193\frac{2}{3}$ Palmi à $8'' 6\frac{4}{9}'''$ Rhein., also $137\frac{3}{4}$ Rhein. Fuss zum inneren Durchmesser der Kuppel, welche aus Mauersteinen und Gusswerk construirt worden ist. Durch eine im Scheitel der Kuppel angeordnete Lichtöffnung wird dem inneren Raume sein Licht mitgetheilt. Die Stärke des Gewölbes ist hier $\frac{1}{31}$ des inneren Durchmessers,

und die Stärke der Widerlager gegen $4\frac{1}{3}$ mal grösser, also $\frac{1}{7}$ des Durchmessers.

Die Hintermauerung reicht bis zur halben Höhe der Kuppel hinauf, und ist oben treppenförmig gebrochen; in dieser Hintermauerung befindet sich ein Gang, in welchem 40 Querpfeiler mit kleinen Thüröffnungen angebracht sind. In den Widerlagsmauern sind 8 grosse und 8 kleine Nieschen angebracht, wodurch das Gewicht des Widerlagers, also auch dessen Stabilität, bedeutend vermindert wird. Die innere Höhe der Widerlager und der Kuppel ist mit dem inneren Durchmesser der Kuppel von gleicher Grösse.

Das antike römische Kuppelgewölbe bildet im Innern eine vollständige Halbkugel, wogegen das Kuppelgewölbe des Mittelalters eine überhöhte Ellipse bildet. Diese Ueberhöhung dient dazu, dass das Gewölbe nicht gedrückt erscheine, wie dies immer der Fall ist, wenn die innere Wölbung eine vollständige Halbkugel bildet. Das bedeutendste Kuppelgewölbe des Mittelalters ist die Kuppel des St. Peter zu Rom, welche von Bramant angefangen und von Michel Angelo Bonaroti im Gewölbebau beendet wurde. Die Höhe dieser Kuppel vom Fussboden bis zum Auge der Laterne beträgt $552\frac{1}{2}$ Palmi à $8''6\frac{1}{6}'''$ Rheinl., und bis zum Gipfel des Kreuzes 593 Palmi oder 422 Fuss Rheinl. — Es sind hier zwei Kuppeln übereinander angebracht, von welchen die innere im Scheitel 6 Fuss, die äussere Kuppel, welche als Schutzkuppel dient, aber 3 Fuss stark ist. In der Gegend, wo die innere Kuppel ihren Anlauf hat, sind beide Kuppeln noch vereinigt; die Stärke des Gewölbes ist hier 9 Fuss. Der innere Durchmesser dieser Kuppel misst 130 Fuss franz. Maass oder $190\frac{2}{3}$ Palmi.

Die Stärke der Widerlager ohne die Pfeilervorlage, welche von Säulen durchbrochen ist, beträgt $\frac{1}{11}$ der lichten Weite; mit der Pfeilervorlage aber $\frac{1}{5{,}5}$, was jedenfalls zu schwach ist. Daher denn auch die Kuppel kurz nach ihrer Vollendung bedeutende Risse bekam.

Die Wölbungsfläche der Schutzkuppel ist excentrisch zu der inneren Wölbungsfläche; daher der Raum zwischen beiden Kup-

peln nach oben stetig sich erweitert. An der Stelle, wo das Gewölbe mit der Laterne zusammentrifft, beträgt dieser Zwischenraum 10 Fuss. In dem hohlen Raume zwischen beiden Kuppeln sind 16 Gurte angebracht, welche über die Schutzkuppel noch hervorragen, so dass sie in der äussern Ansicht hier eben so viele Verzierungsgurte bilden. Beide Kuppeln bilden ein überhöhtes Gewölbe; die Ueberhöhung der inneren Kuppel ist $\frac{2}{11}$ der lichten Weite.

§. 107.

Es sei Fig. 239 der halbe Grundriss eines sphärischen Gewölbes, dessen innere Wölbungsfläche eine Halbkugel ist. Figur 238 sei der verticale Durchschnitt nach der Linie $H' I'$ des Grundrisses. Diese Figuren zu construiren, beschreibe man den Halbkreis $a' x' c'$ Fig. 239 und mit demselben Radius den Halbkreis $a'' b'' c''$ Fig. 238. Den letzteren Halbkreis theile man in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, indem man $a'' d''$ gleich $d'' e''$ gleich $e'' n''$ gleich $n'' o''$ u. s. f. macht, und ziehe die geraden Linien $d'' \alpha''$, $e'' \omega''$, $n'' \delta''$ und $o'' o_3''$. Diese Linien sind parallel der Linie $a'' c''$, und stellen die zweiten Projectionen der inneren Leibungsfugen vor.

Jeder Schnitt durch die Kugel ist ein Kreis; daher sind die inneren Leibungsfugen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in der Achse $m b$ des Gewölbes sich befinden, und deren ersten Projectionen concentrische Kreise, die zweiten Projectionen aber gerade Linien sind. Es werden daher die ersten Projectionen der Leibungsfugen erhalten, wenn man die Punkte d'', e'', n'' und o'' Figur 238 nach d', e', n' und o' Fig. 239 projicirt, und aus dem Mittelpunkte m' mit den Radien $m' d'$, $m' e'$, $m' n'$ und $m' o'$ concentrische Kreise construirt; diese Kreise sind die ersten Projectionen der inneren Leibungsfugen.

Die Ebene jeder Stossfuge ist vertical, zugleich aber auch normal auf der inneren Leibung der Kugelfläche. Daher schneiden die Stossfugen die Kugelfläche in grössten Kreisen, deren ersten Projectionen gerade Linien sind, welche im Mittelpunkte m' sich schneiden.

Diese Fugen werden zunächst im Grundrisse in der Weise angeordnet, dass nicht Fuge auf Fuge treffe, und dass die ein-

zelnen Steine weder zu klein noch zu gross werden. Ist die Anordnung dieser Fugen im Grundriss getroffen, so wird zur Feststellung der zweiten Projection derselben geschritten. Dies geschieht z. B. für die Fuge $g\,h$, deren erste Projection die gerade Linie $g'\,h'$ Fig. 239 ist, wenn man den Punkt g' auf die gerade Linie $d''\,d_2''$ nach g'', den Punkt h' auf die gerade Linie $e''\,e_2''$ nach h'' projicirt, und durch die Punkte g'', h'' eine entsprechende Curve legt. Sollte zur genauern Bestimmung der Curve $g''\,h''$ noch ein Zwischenpunkt h_2'' angegeben werden, so nehme man den Punkt h_2' in der Linie $g'\,h'$ Fig. 239 beliebig an, beschreibe aus dem Punkte m' den Kreisbogen $h_2'\,h_3'$, projicire den Punkt h_3' auf den Halbkreis $a''\,b''\,c''$ nach h_3'' Figur 238, und ziehe die gerade Linie $h_3''\,h_4''$ parallel $a''\,c''$; diese gerade Linie stellt die zweite Projection desjenigen Parallelkreises vor, dessen erste Projection durch den Punkt h_3' geht. Wenn man daher den Punkt h_2' Fig. 239 auf die gerade Linie $h_3''\,h_4''$ nach h_2'' projicirt, so ist derselbe ein dritter Punkt der Curve $g''\,h''$.

Um den Rücken dieses Kuppelgewölbes festzustellen, mache man $b''\,b_2''$ Fig. 238 gleich $\frac{1}{30}$ der lichten Weite $a''\,c''$; und die Stärke des Widerlagers oder die Linie $c''\,w''$ gleich $\frac{1}{7}$ von der Linie $a''\,c''$. Hierauf construire man durch den Punkt b_2'' den Oberbogen $q''\,b_2''\,\sigma''$ mit einem Radius, welcher zur Hälfte grösser ist, als der Radius der Kuppel.

Zur Bearbeitung der Steine dieses Gewölbes gebraucht der Steinmetz die Schablone der Stossfuge, die der Lagerfuge, so wie drittens die Schablone der Leibung. Diese Schablonen anzufertigen, müssen sämmtliche Lagerfugen der verschiedenen Steinschichten ausgetragen werden. Die Stossfugen des Gewölbes werden nicht ausgetragen, weil die Schablonen derselben nach dem mittleren Querdurchschnitt, welchen Fig. 238 vorstellt, angefertigt werden können.

Die Lagerfuge irgend einer Steinschicht bildet einen normalen abgekürzten Kegelmantel, dessen Seite die Stärke des Gewölbes in dieser Lagerfuge ist. Die Spitze des Ergänzungskegels ist der Mittelpunkt m des Gewölbes. Um daher etwa die Lagerfuge auszutragen, deren zweite Projection in dem Durchschnitt Fig. 238 die Linien $q''\,e''$ und $\sigma''\,w''$ sind, lege man den

Mantel desjenigen Kegels, welcher durch Umdrehung des rechtwinkligen Dreiecks $m'' e'' e_2''$ um die Achse $m'' e_2''$ beschrieben wird, in eine Ebene. Zu dem Ende denke man diesen Kegelmantel in der Seite $m'' e''$ aufgeschnitten und abgewickelt; er bildet alsdann einen Kreisausschnitt, dessen Radius die Linie $m'' e''$ ist, und dessen Bogen der Peripherie $2 . e_2'' e'' . \pi$ gleich ist. Um diesen Kreisausschnitt zu zeichnen, bedarf man des Mittelpunktswinkels η; derselbe ergiebt sich aber aus der Proportion

$$\eta : 360 = 2 . e'' e_2'' . \pi : 2 . m'' e'' . \pi,$$

$$\text{oder } \eta = \frac{e'' e_2''}{m'' e''} . 360^0,$$

$$\text{oder } \eta = \frac{\varrho}{\varrho_,} . 360^0,$$

wenn man den Radius $e'' e_2''$ mit ϱ, und $m'' e''$ mit $\varrho_,$ bezeichnet. Da das Verhältniss $\frac{\varrho}{\varrho_,}$ bekannt ist, kann der Mittelpunktswinkel η berechnet und aufgetragen werden. Die Figur $m e c_2 c_3 c_4 \omega$ Figur 240 sei die Hälfte dieses Kreisausschnitts, und $e q$ sei gleich $e'' q''$ Fig. 238; also $m q$ der Radius der äusseren Kugelfläche in der Gegend ihres Anlaufs. Wenn man daher mit $m q$ als Radius den Kreisbogen $q \sigma$ beschreibt, so stellt das Ringstück $e q \sigma \omega$ die Hälfte der unteren Lagerfuge vor, welche an der dritten Steinschicht sich befindet. Und wenn man endlich noch dies Ringstück in so viel gleicher Theile theilt, als in der Steinschicht Gewölbsteine vorhanden sind, indem man $e c_2 = c_2 c_3 = c_3 c_4 = c_4 \omega$ macht, und nach dem Mittelpunkte m die geraden Linien $c_2 o_2$, $c_3 o_3$ u. s. f. zieht: so ist jeder Theil wie etwa $e q o_2 c_2$ die ausgetragene untere Lagerfuge eines Gewölbsteins der dritten Schicht, wonach die Schablone angefertigt werden kann.

Wir kommen zum Austragen der Leibung. Gesetzt, man wolle die Leibung der dritten Steinschicht austragen, so ziehe man in Figur 238 die Sehne $e'' n''$, verlängere dieselbe bis f'', und denke den normalen Kegel, welcher durch Umdrehung des rechtwinkligen Dreiecks $e'' e_2'' f''$ um die Achse $m'' f''$ beschrieben wird. Die Linie $e'' n''$ beschreibt alsdann einen abgekürz-

ten Kegelmantel, welchen wir zur Hälfte in Fig. 241 nach demselben Princip ausgetragen haben, nach welchem die Austragung der Lagerfugen geschah. Das Ringstück $n\,e\,b_5\,a_5$, welches die Hälfte des ausgetragenen abgekürzten Kegelmantels vorstellt, wird durch die Linien $a_2\,b_2$, $a_3\,b_3$ und $a_4\,b_4$ in 4 gleiche Theile getheilt, jeder Theil wie $n\,e\,b_2\,a_2$ stellt daher die Sehnenschablone der Leibung eines Steins der dritten Schicht vor.

Zeichnen der Steine.

Die Figur $v\,w\,c\,\alpha\,\beta\,v'\,w'\,c'\,\alpha'\,\beta'$ Fig. 243 stellt einen Stein der unteren Schicht vor; $d\,e\,q\,l\,s\,g\,k\,q,\,l,\,s,$ Fig. 244 einen Stein der zweiten Schicht und $\sigma\,\pi\,\delta\,\omega\,\sigma,\,\pi,\,\delta,$ Fig. 245 einen Stein der dritten Schicht.

Die Fig. 243 zu construiren, ziehe man durch den Theilpunkt α'' des Halbkreises $a''\,b''\,c''$ Figur 238 die gerade Linie $a''\,t''$ normal auf $a''\,c''$, und verlängere dieselbe nach oben bis zum Durchschnittspunkte u'' mit der Linie $v''\,\beta''$.

2) Construire man ein normales Cylinderstück, welches die Figur $a_2'\,a_3'\,a_4'\,a_5'$ Fig. 239 zur Grundebene und die Linie $v''\,w''$ Fig. 238 zur Höhe hat.

Zu dem Ende beschreibe man aus dem Punkte m Fig. 242 den Bogen $t\,t$, mit einem Radius $m\,t_,$, welcher gleich $m'\,d'$ Fig. 239 ist.

3) Mache man den Bogen $t\,t$, Figur 242 mit dem Bogen $a_3'\,a_4'$ Fig. 239 gleich gross, ziehe die Linien $t\,w$ und $t_,\,w_,$ in einer durch den Mittelpunkt m gehenden Richtung, und mache jede gleich lang mit $a_4'\,a_5'$ Fig. 239.

4) Construire man in den Punkten m, t, w, w, und t, lothrechte Linien $m\,B$, $t\,u$, $w\,v$, $w,\,v,$ und $t,\,u,$, welche auf den horizontal gedachten Linien $m\,w$, und $m\,w$ normal stehen, und mache jede von diesen lothrechten Linien gleich lang mit $v''\,w''$ Figur 238.

5) Beschreibe man aus dem Punkte B die Bogen $u\,u$, und $w\,w_,$, und ziehe die geraden Linien $u\,v$ und $u,\,v,$; die Figur $w\,t\,u\,v\,w,\,t,\,u,\,v,$ stellt dann das darzustellende normale Cylinderstück vor.

Um nun den einen Stein der unteren Gewölbeschicht vollends zu verzeichnen, construire man in Fig. 243 das normale Cylin-

derstück $w\,t\,u\,v\,w, t, u, v,$ noch einmal; mache sodann $t\,c$ gleich $t, c,$ gleich $t''\,c''$ Fig. 238, so wie $u\,\alpha$ gleich $u, \alpha,$ gleich $u''\,\alpha''$ Fig. 238, und $u\,\beta$ gleich $u, \beta,$ gleich $u''\,\beta''$ Fig. 238; construire sodann durch die so erhaltenen Punkte entsprechende Bogen $c\,c_1$, $\beta\,\beta_1$ und $\alpha\,\alpha_1$, und zwar den Bogen $c\,c_1$ aus dem Mittelpunkte m des Bogens $t\,t_1$, den Bogen $\beta\,\beta_1$ aus dem Mittelpunkte B des Bogens $u\,u_1$, und den Bogen $\alpha\,\alpha_1$ aus einem Punkte der Linie $m\,B$, welcher erhalten wird, wenn man die Höhe $t''\,\alpha''$ Fig. 238 auf $m\,B$ von m aus abträgt. Endlich ziehe man die geraden Linien $\alpha\,\beta$ und $\alpha_1\,\beta_1$, so wie noch die Bogen $\alpha\,c$ und $\alpha_1\,c_1$; die so hervorgehende Figur stellt dann einen Stein der unteren Schicht vor. Das ebene Ringstück $\beta\,v\,v_1\,\beta_1$ stellt die obere horizontale Lagerfuge dieses Steins vor; das untere Ringstück $c\,w\,w_1\,c_1$ aber das untere Lager; die Ebenen $c\,w\,v\,\beta\,\alpha$ und $c, w, v, \beta, \alpha,$ sind die verticalen Stossfugen; die Figur $c\,\alpha\,\alpha_1\,c_1$ ist innere kugelförmige Wölbungsfläche, und $\alpha\,\beta\,\beta_1\,\alpha_1$ centrale Lagerfuge der unteren Steinschicht.

In ähnlicher Weise wird die Figur 244, welche einen Stein der zweiten Gewölbeschicht vorstellt, erhalten. Zunächst construire man das Rechteck $l''\,k''\,i''\,p''$ Fig. 238, und denke ein normales Cylinderstück, welches das concentrische Ringstück $H'\,E'\,k'\,e'$ Figur 239 zur Grundebene und $l''\,p''$ Figur 238 zur Höhe hat; dessen Stirnflächen sonach dem Rechteck $l''\,k''\,i''\,p''$ congruent sind.

Der Mittelpunkt der unteren Grundebene dieses Cylinderstückes ist der Punkt d_2, dessen zweite Projection in Fig. 238 mit d_2'' bezeichnet worden ist, und dessen geometrischer Ort in der Achse des Gewölbes sich befindet.

Der Mittelpunkt der oberen Grundebene des Cylinderstückes befindet sich ebenfalls in der Achse des Gewölbes, und zwar in der Entfernung $p''\,l''$ über dem Mittelpunkte d_2 der unteren Grundebene. Die Figur $i\,p\,l\,k\,k_1\,i_1\,p_1\,l_1$ Fig. 244 sei dies Cylinderstück; d_2 sei der Mittelpunkt der unteren und A der Mittelpunkt der oberen Grundebene, also $d_2\,A$ gleich $i''\,k''$ Fig. 238. Um nun aus diesem Cylinderstücke die Form des Steins der zweiten Gewölbeschicht zu erhalten, mache man die Längen $i\,g$ und $i\,d$ gleich lang mit $i''\,d''$ Fig. 238, und construire aus d_2

den Bogen $d\,g$. Ferner mache man $q\,k$ gleich $q''\,k''$ Fig. 238 und beschreibe aus A als Mittelpunkt den Bogen $q\,q_,$; mache sodann die Längen $k\,e$ und A e_2 mit $k''\,e''$ Fig. 238 gleich lang, und beschreibe aus e_2 den Bogen $e\,h$; ziehe die geraden Linien $e\,q$ und $h\,q_,$, so wie die Bogen $d\,e$ und $g\,h$. Endlich mache man $p\,s$ gleich $p_,\,s_,$ gleich $p''\,s''$ Fig. 238, und ziehe $s\,r$ parallel $p\,d$, so wie $s_,\,r_,$ parallel $p_,\,g$; mache $s\,r$ und $s_,\,r_,$ jede gleich lang mit $s''\,r''$ Fig. 238 und ziehe die Linien $r\,d$ und $r_,\,g$; die Figur $l\,q\,e\,d\,r\,s\,l_,\,q_,\,h\,g\,r_,\,s_,$ stellt alsdann einen fertigen Stein der zweiten Gewölbeschicht vor. Das ebene Ringstück $q\,l\,l_,\,q_,$ dieser Figur stellt das obere horizontale Lager vor; und die beiden verticalen Ebenen $l\,q\,e\,d\,r\,s\,l$ und $q_,\,h\,g\,r_,\,s_,$ sind die Stossfugen dieses Steins, welche in der verticalen Achse des Gewölbes sich schneiden. Die ringförmige Fläche $e\,q\,q_,\,h$ bezeichnet die centrale Lagerfuge, welche einen Theil des abgekürzten Kegelmantels darstellt; und die Fläche $d\,e\,h\,g$ ist der Theil der inneren Kugelfläche, welche jeder Stein der zweiten Gewölbeschicht darbietet.

Wir kommen zur Construction des in Fig. 245 dargestellten Steins der dritten Gewölbeschicht.

Die Figur $\delta''\,\pi''\,\sigma''\,\omega''$ Figur 238 stellt den normalen Querschnitt der dritten Steinschicht vor, und $m_2'\,m_3'\,m_4'\,m_5'$ Fig. 239 die erste Projection eines Steins dieser Schicht. Durch die grössten Abmessungen dieses normalen Querschnitts lege man das Rechteck $\gamma''\,\varphi''\,\lambda''\,\mu''$ Fig. 238, und construire ein Cylinderstück, welches das Rechteck $\gamma''\,\varphi''\,\lambda''\,\mu''$ zur Stirnfläche hat; dessen innerer Radius gleich der Länge $e_2''\,\gamma''$, der äussere Radius aber der Länge $e_2''\,\mu''$ gleich ist, und dessen Centriwinkel mit dem des zu construirenden Steins der Kuppel übereinstimmt, also dem Winkel $m_2'\,m'\,m_5'$ Fig. 239 gleich ist. — Dies gebe die Figur $\mu\,\lambda\,\varphi\,\gamma\,\gamma_,\,\varphi_,\,\lambda_,$ Fig. 245. Hierauf mache man die Längen

$\lambda\,\sigma$	und	$\lambda_,\,\sigma_,$	Figur 245	gleich $\lambda''\,\sigma''$	Figur 238,
$\varphi\,\pi$	und	$\varphi_,\,\pi_,$	— —	gleich $\varphi''\,\pi''$	— —
$\varphi\,\delta$	und	$\varphi_,\,\delta_,$	— —	gleich $\varphi''\,\delta''$	— —
$\gamma\,\omega$		aber		gleich $\gamma''\,\omega''$	— —

und verbinde die zusammengehörigen Punkte durch entsprechende Linien: die hervorgehende Figur $\omega\,\sigma\,\pi\,\delta\,\delta_,\,\pi_,\,\sigma_,$ stellt alsdann einen

Stein der dritten Schicht des sphärischen Gewölbes vor. In derselben Weise werden alle übrigen Steine construirt, deren Rücken rund ist.

Bearbeitung der Steine.

Die Bearbeitung der Steine des sphärischen oder sphäroidischen Gewölbes geschieht zum Theil nach der rechtwinkligen Behauungsmethode, zum Theil nach Schablonen. Um z. B. den in Fig. 243 dargestellten Stein der unteren Schicht zu bearbeiten, sucht der Arbeiter zunächst erst das Cylinderstück zu bearbeiten, welches Fig. 242 darstellt.

Um dies Cylinderstück darzustellen, wählt der Arbeiter ein Parallelepipedum, welches den Dimensionen des darzustellenden Steins so ziemlich entspricht; bearbeitet an demselben das untere Lager, legt die Schablone der unteren Lagerfuge auf die bearbeitete Fläche, zeichnet den Umriss derselben auf den Stein, und bearbeitet nach diesem Umrisse die vier Seitenflächen des Steins normal auf dem Lager. Damit aber die vier Seitenkanten $t\,u$, $w\,v$, t, u, und w, v, auf der unteren Ebene genau normal stehen, gebraucht der Arbeiter die Vorsicht, die Richtung derselben jede in Bezug auf zwei sich schneidende gerade Linien abzuwinkeln, weil eine gerade Linie nur dann auf einer Ebene normal steht, wenn sie mit zwei sich schneidenden geraden Linien in dieser Ebene rechte Winkel bildet. — Nachdem die Seitenkanten genau eingerichtet und die Seitenebenen bearbeitet sind, geschieht dasselbe mit der oberen Ebene des Steins. Der Stein hat alsdann die Form, welche Fig. 242 zeigt.

Diesem Stein wird nun die Form gegeben, welche Fig. 243 zeigt. Zu dem Ende legt der Arbeiter auf beide Stirnflächen $v\,w\,t\,u$ und v, w, t, u, Fig. 242 die Schablone der Stossfuge, und zeichnet den Umriss derselben auf den Stein. Dadurch werden die Kreisbogen $c\,\alpha$ und $c'\,\alpha'$, so wie die geraden Linien $\alpha\,\beta$ und α, β, Fig. 243 erhalten. Diese Linien und der Bogen $c\,c'$, welcher auf das untere Lager des Steins vermittelst der Schablone getragen wird, dienen dem Arbeiter bei der Bearbeitung der Kugelfläche zur Richtschnur; dabei bedient derselbe sich noch einer an dem grössten Kreise der inneren Gewölbefläche aufgenomme-

nen Lehre, welche während der Bearbeitung auf die beiden Kreisbogen $c\,\alpha$ und $c'\,\alpha'$ Fig. 243 gelegt wird, um zu untersuchen, ob diese Lehre die bearbeitete Fläche überall innig berühre. In eben der Art werden die übrigen Steine bearbeitet.

§. 108.

Fig. 246 ist der verticale Durchschnitt, und Fig. 247 der halbe Grundriss eines sphärischen Gewölbes über einem quadraten Raume. Dieser Raum wird von vier Mauern eingeschlossen, welche die Widerlager des sphärischen Gewölbes vorstellen.

Der Durchschnitt in der Diagonale des quadraten Raumes schneidet die Kugel in einem grössten Halbkreise; der Schnitt durch die Mitte zweier parallelen Seiten des Quadrats schneidet die Kugel dagegen in einem Kreisbogenstück, welches kleiner als der Halbkreis ist. Daher ist die innere Wölbungsfläche nur in der Richtung der Diagonale des Quadrats eine vollständige Halbkugel.

Die innere Seitenfläche jeder Mauer schneidet die Kugelfläche in einem kleinern Halbkreise, dessen Durchmesser Seite des inneren Quadrats ist; der Halbkreis $c^0\,x''\,y^0$ Fig. 246 stellt diese Durchschnittslinie vor.

Die Figuren 246 und 247 zu construiren, verfahre man wie folgt:

Aus dem Mittelpunkte m' Fig. 247 des quadraten Raumes ziehe man die Diagonale $m'\,p'$, und beschreibe mit derselben aus dem Punkte m'' Fig. 246 den Halbkreis $p''\,r''\,o''\,a''\,v''$. Diesen Halbkreis theile man in eine ungerade Anzahl gleicher Theile, indem man $p''\,r''$ gleich $r''\,o''$ gleich $o''\,a''$ gleich $a''\,q''$ gleich $q''\,s''$ u. s. w. macht. Bei dieser Eintheilung muss aber darauf Rücksicht genommen werden, dass in den Punkt c'', den Durchschnittspunkt der geraden Linie $c^0\,c''$ und jenes Halbkreises, kein Theilpunkt komme; denn wo zwei Systeme sich begegnen, darf keine Fuge angebracht werden.

Die oberen Lagerfugen der zwei unteren Steinschichten können hier horizontal angenommen werden, weil sie zum grössten Theil in die gerade Mauer fallen. Erst von der dritten, durch den Punkt a'' gelegten Lagerfuge an, geht die Richtung derselben durch den Mittelpunkt m'' der Kugel. Man ver-

binde nun die Theilpunkte s'' und t'', q'' und u'', a'' und v'' durch gerade Linien; diese stellen die zweiten Projectionen derjenigen kleineren Kreise vor, in welchen die innere Kugelfläche von den ringsherum laufenden centralen Lagerfugen geschnitten wird. Aus den Punkten o'' und r'' ziehe man ferner gerade Linien parallel der Linie $p'' y^0$, projicire die Punkte a'', q'' und s'' nach a', q' und s' Fig. 247, und construire concentrische Kreise, welche durch diese Punkte gehen und m' zum Mittelpunkt haben; diese drei concentrischen Kreise sind die ersten Projectionen jener kleineren Kreise.

Man construire ferner den Bogen $d_2' f_2'$ Fig. 247 mit dem Radius $o'' o_4''$ Fig. 246, so wie auch den Bogen $d_3' f_3'$ mit der Länge $r'' r_4''$ als Radius, und ordne die Stossfugen im Grundrisse in der Weise an, dass ein guter Steinverband entstehe. Nachdem alle Fugen im Grundrisse festgesetzt worden sind, ermittele man ihre zweiten Projectionen in Fig. 246, wobei man jetzt keine Schwierigkeiten weiter finden wird.

Figur 248 stellt den Eckstein A vor, dessen Grundriss die Figur $l' a_3' a_2' w' a_4'$ Figur 247 ist. Dieser Stein hat oben und unten horizontale Lager $\alpha r \beta \gamma \delta \varepsilon$ und $w a_2 a_3 l a_4$; die beiden Stirnflächen $\beta \gamma a_3 a_2$ und $\alpha \varepsilon a_4 w$ stehen normal auf der Richtung der Mauern, und in der innern Ecke beginnt die kugelförmige Wölbung in einem Punkte.

Die innere Kugelfläche wird von dem oberen horizontalen Lager dieses Steins in dem Kreisbogen $\alpha r \beta$ geschnitten, dessen erste Projection in Fig. 247 der Kreisbogen $a_2' w'$ ist. Man erhält daher die Punkte α und β, wenn man $p w$ Fig. 248 gleich $p' w'$ Fig. 247, $p a_2$ gleich $p' a_2'$ macht, in den Punkten w und a_2 die Normalen $w \alpha$ und $a_2 \beta$ construirt, und deren Länge gleich der Linie $l'' k''$ Fig. 246 macht. Den Punkt r bestimme man aus seinen rechtwinkligen Coordinaten, indem man aus dem Punkte r' Fig. 247 Normalen auf $p' a_2'$ und $p' w'$ fällt, diese Längen auf $p w$ und $p a_2$ Fig. 248 trägt, und damit ein perspectivisches Quadrat construirt; dadurch wird der Punkt r_2 erhalten. In diesem Punkte construire man nun die lothrechte $r_2 r$, und mache sie mit $l'' k''$ Fig. 246 gleich lang; der so erhaltene Punkt r giebt einen dritten Punkt zur Bestimmung des Bogens $\alpha r \beta$.

Fig. 249 stellt diejenigen zwei Steine vor, welche in der zweiten Schicht die Ecke der Mauern einnehmen, und hier die Verbindung der Kugel mit den geraden Mauern vermitteln; ihre ersten Projectionen sind in Fig. 247 mit $m_2' c_2' d_2' e_2' f_2' g_2' h_2' l_2' k_2'$ bezeichnet worden.

Die Figur $NKLM\alpha PIHO$ stellt die untere Steinschicht der Mauer vor, die Linien Lm und Im die Mittellinien des Quadrats und m den Mittelpunkt der innern Kugelfläche. LK und HI bezeichnen die Stärke der Mauern, und LM die Höhe der unteren Steinschicht. — Diese Steine zu construiren, stelle man zunächst dasjenige zusammengesetzte Parallelepipedum dar, dessen erste Projection die Figur $m_2' l_2' h_2' g_2' z' c_2'$ Fig. 247 ist, indem man die Längen βc_3 und βg_3 Fig. 249 mit $z' c_2'$ Fig. 247 gleich lang macht, und die Höhe $g_3 g_2$ Fig. 249 gleich $r_4'' o_4''$ Figur 246.

Um den Bogen $d_2 e_2 f_2$ zu erhalten, mache man die Länge $c_2 d_2$ gleich $c_2' d_2'$ Fig. 247, eben so $g_2 f_2$ gleich $g_2' f_2'$, und bestimme einen dritten Punkt e_2 aus seinen rechtwinkligen Coordinaten.

Das obere horizontale Lager der zweiten Steinschicht würde die Kugelfläche in einem zu spitzen Winkel schneiden, und mit derselben eine spitze zerbrechliche Kante bilden. Aus diesem Grunde fanden wir uns bewogen, durch eine centrale Abschrägung nach der Linie $o'' n''$ Fig. 246 jene spitze scharfe Kante zu beseitigen. In der geraden Mauer fällt diese Abschrägung aber fort, weshalb die mit B bezeichneten Ecksteine ungleiche Höhen haben, in sofern der Theil derselben, welcher die Kugelfläche aufnimmt, eine grössere Höhe hat als derjenige, welcher als Stein der geraden Mauer gilt.

Der Unterschied dieser Höhen ist die Länge $y_2 z_2$ Fig. 249, welche in dem Unterschiede der Höhen der Punkte n'' und v'' Fig. 246 erhalten wird.

Die centrale Lagerfuge $u_2 f_2 d_2 x_2$ Fig. 249 wird von der verticalen Stossfuge $x_2 y_2 z_2 d_2$ in der Linie $x_2 d_2$ geschnitten, und von der verticalen Stossfuge $u_2 v_2 w_2 f_2$ in der Linie $u_2 f_2$. Diese Durchschnittslinien sind Hyperbeln; denn die centrale Lagerfuge ist ein Theil eines normalen abgekürzten Kegelmantels, dessen

lothrecht stehende Achse durch den Punkt m geht, mit welcher die schneidenden Ebenen $x_2 y_2 z_2 d_2$ und $u_2 v_2 w_2 f_2$ parallel laufen. Die Richtungen dieser Hyperbeln gehen durch die Punkte F und G, welche erhalten werden, wenn man die Längen K F und H G mit $z' d_2'$ oder z, f_2' Fig. 247 gleich gross macht.

Die Richtung der Stossfuge $i_2 t_2$ geht durch die Achse des Kugelgewölbes; daher geht die gerade Linie $t_2 e_2$ durch den Mittelpunkt m, und die Linie $t_2 i_2$ durch den Eckpunkt l_2. Damit aber in l_2 keine spitze Kante gebildet werde, haben wir diese Stossfuge im Punkte i_2 nach der auf $l_2 v_2$ normal stehenden Richtung $i_2 k_2$ gebrochen.

Von der dritten Steinschicht einen Stein noch zu zeichnen, hielten wir für überflüssig. Die Ecke wird in dieser Schicht durch die drei Steine gebildet, deren ersten Projectionen die Figuren $b_2' b_3' b_4' b_7' b_8'$, $b_4' b_5' b_6' b_7'$ und $l' b_6' b_8' b_9'$ Figur 247 sind. Der durch $b_2' b_3' b_4' b_7' b_8'$ bezeichnete Kugelstein vermittelt hier die Verbindung der Kugel mit den geraden Mauern, und die beiden anderen Steine haben die Form eines rechtwinkligen Parallelepipedums.

Zur Seite dieser Steine vermittelt der Stein $b_2' b_8' b_9' n_2' o_2' p_2'$ die Verbindung der Kugel mit der geraden Mauer, und zum Schluss dient der Mittelstein $n_2' o_2' p_2' q_2' r_2' s_2'$. Die verticalen Stossfugen dieses Steins bilden eine gebrochene Ebene, welche mit dem einen Theil auf der Richtung der Mauer normal steht, mit dem anderen aber durch den Mittelpunkt der Kugel geht. Eine gebrochene Ebene richtig darzustellen, ist für den Arbeiter stets eine schwierige Aufgabe, und es ist deshalb vorzuziehen, diese Stossfuge als Eine Ebene darzustellen, indem man die Richtung der Linie $o_2' p_2'$ nicht durch den Mittelpunkt der Kugel gehen lässt, sondern dieselbe als Fortsetzung der geraden Linie $n_2' o_2'$ darstellt.

Die Figur $l'' p'' r'' o'' a'' b'' f''$ Fig. 246 ist der nach der Richtung der Diagonale $l' m'$ Fig. 247 genommene Durchschnitt der Eckverbindung; $p'' r'' k'' l''$ ist der Durchschnitt des unteren Steins der Ecke, $r'' o'' n'' g'' k''$ der Durchschnitt der zweiten Steinschicht, und endlich $o'' a'' b'' f'' g''$ der Durchschnitt der dritten Steinschicht.

§. 109.

Die Construction eines überhöhten sphäroidischen Gewölbes zeigt Fig. 250 Taf. XVI.

Dieses Kuppelgewölbe hat zum mittleren Querschnitt eine Ellipse, deren Ueberhöhung beinahe $\frac{1}{5}$ des untern Durchmessers des Gewölbes beträgt. Im Uebrigen sind alle Constructionen dieses Gewölbes dieselben, wie beim Kugelgewölbe; ausgenommen die Construction der Lagerfugen, deren Richtungen hier nicht die Achse des Gewölbes im Mittelpunkte des untersten Kreises treffen, sondern die Achse in verschiedenen Punkten übereinander schneiden. Es hat dies darin seinen Grund, dass die Lagerfugen in die Richtung der Curvennormale fallen müssen, wenn sie auf der inneren Wölbungsfläche normal stehen sollen; weshalb die Richtung dieser Lagerfugen nach §. 67. ermittelt werden muss.

Figur 251 zeigt die Construction des gedrückten sphäroidischen Gewölbes, wie solches zuweilen über Sälen angebracht wird.

In Figur 252 haben wir noch ein mit Cassetten verziertes Kuppelgewölbe dargestellt, welches in dem Princip des antiken römischen Kuppelgewölbes construirt worden ist.

§. 110.

Das auf Tafel XVII. dargestellte Gewölbe ist ein flaches Kugelgewölbe über dem quadraten Raume, welches unter der besonderen Benennung, Böhmisches Gewölbe, bekannt ist. Figur 254 ist der Grundriss dieses Gewölbes, Fig. 253 ein Querdurchschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses und Fig. 255 ein Diagonalschnitt nach der Richtung C′ D′.

Fig. 256 stellt den Eckstein M vor, dessen erste Projection in Fig. 254 mit M′ bezeichnet ist. E bezeichnet die Schablone des oberen horizontalen Lagers, und H die des unteren Lagers dieses Steins.

Fig. 257 stellt den Zwickelstein K vor, dessen erste Projection im Grundriss mit K′ bezeichnet ist. *P* Fig. 259 bezeichnet die Schablone der Stossfuge dieses Steins.

Fig. 258 stellt den Stein N vor, dessen erste Projection mit N′ bezeichnet ist. Dieser Stein findet sein Auflager auf der

vollen Mauer, und bindet zum Theil in das Kugelgewölbe, wodurch der Uebergang aus der geraden Mauerfläche in die Kugelfläche vermittelt wird.

Fig. 258 zeigt diesen Stein von oben angesehen; Fig. 259 aber denselben von unten angesehen. *I* ist die Schablone vom obern horizontalen Lager, und *P* die der Stossfuge *a b c d e*.

Die Figuren 260 und 261 zeigen endlich noch den mittlern Stein *O*; erstere ist eine Ansicht dieses Steins von oben, letztere eine Ansicht von unten. *S* ist die Schablone des obern horizontalen Lagers, und R die der Stossfuge.

Die Stossfugen dieses Steins stehen normal auf der Richtung der Mauer worauf derselbe lagert; die Stossfugen der Kugelsteine sind aber central, indem dieselben in der Achse des Gewölbes sich schneiden; es müsste sonach der in das Kugelgewölbe einbindende Theil dieses Steins centrale Stossfugen haben, weshalb die ebene Stossfuge *n m o v w x* Fig. 261 eine gebrochene Ebene sein müsste. Nun ist aber klar, dass die gebrochene Ebene bei weitem schwieriger zu bearbeiten ist, als die nicht gebrochene Ebene; aus diesem Grunde fanden wir uns veranlasst, die Stossfuge des in das Kugelgewölbe einbindenden Theils des Steins *O* als Fortsetzung der Ebene, welche auf der Richtung der Mauer normal steht, zu behandeln.

§. 111.

Fig. 263 Taf. XVIII. ist der Grundriss eines Kugelgewölbes über dem quadraten Raume; Fig. 262 der verticale Querschnitt desselben nach der Linie *A′ B′* des Grundrisses, Fig. 264 der Diagonalschnitt nach *C′ D′*, und Fig. 265 die Ansicht von vorn.

Dies Kugelgewölbe ruht auf vier Tonnengewölben, deren Widerlager die vier Eckpfeiler vorstellen, und die deshalb stabil genug construirt werden müssen; denn von ihrer Standfähigkeit hängt die Sicherheit des ganzen Gewölbes ab. Bei der St. Nicolai-Kirche zu Potsdam, welche in diesem Princip construirt worden ist, misst die Seite des inneren Quadrats 60 Fuss, die Seite des äusseren Quadrats $117\frac{2}{3}$ Fuss; mithin die Dicke des Eckpfeilers 28 Fuss 10 Zoll, fast die Hälfte der lichten Weite der Tonnengewölbe. Das Gewicht dieser Eckpfeiler wird aber dadurch entschieden vermindert, dass im Innern derselben eine

4 Fuss breite Treppe nach den obern Räumen angebracht worden ist. Die Tonnengewölbe, welche das Kugelgewölbe stützen, haben hier eine Stärke von 5′ 3″ bei einer lichten Weite von 60 Fuss; also etwas mehr als $\frac{1}{12}$ der lichten Weite.

Beim St. Peter zu Rom betrug die Stärke dieser Tonnengewölbe $\frac{1}{18}$ ihrer lichten Weite; die Stärke der Pfeiler der Hauptkuppel, deren innerer Durchmesser 130 Fuss mass, war von Bramant zu 42 Fuss angeordnet worden. Michel Angelo fand aber solches zu schwach, und verstärkte diese Pfeiler bis auf 58 Fuss. Dies genüge zur Anordnung der Massen. Wir kommen zur Construction dieses Kuppelgewölbes. Es sei $a'\ b'\ c'\ d'$ Figur 263 das Quadrat, über welchem das Kuppelgewölbe construirt werden soll; m' die Mitte von $b'\ c'$, und m'' Fig. 262 die zweite Projection desselben Punktes. Da die Breite der Archivolte in der Regel $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ der lichten Weite der zugehörigen Bogenöffnung ist, nehme man den Vorsprung $c'\ e'$ gleich $b'\ o'$ gleich $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ der Länge $o'\ e'$; beschreibe sodann mit den Längen $m'\ b'$ und $m'\ o'$ aus dem Punkte m'' Fig. 262 die Halbkreise $b''\ b_2''\ c''$ und $o''\ o_2''\ e''$, theile den letztern in eine ungerade Anzahl gleicher Theile, und projicire die erhaltenen Theilpunkte auf die Linie $b'\ c'$ Fig. 263. Dadurch werden die Punkte n', r', s', v', w', u' u. s. f. erhalten.

Aus den Theilpunkten n'', r'', s'', v'' u. s. f. des Halbkreises $o''\ o_2''\ e''$ ziehe man in der Richtung des Radius die geraden Linien $n''\ n_2''$, $r''\ r_2''$, $s''\ s_2''$ u. s. f., projicire den Punkt n_2'' auf die Linie $b'\ c'$ nach n_2', eben so den Punkt r_2'' nach r_2', s_2'' nach s_2', v_2'' nach v_2', w_2'' nach w_2' und u_2'' nach u_2' u. s. f.: die erhaltenen Punkte sind die Projectionen derjenigen Punkte, in welchen die innere Kugelfläche von den Centralfugen des innern Hauptes vom Tonnengewölbe durchdrungen wird, da der Halbkreis $b''\ b_2''\ c''$ die zweite Projection der Durchschnittslinie vorstellt, in welcher die innere Kugelfläche von dem innern geraden Haupte des Tonnengewölbes geschnitten wird.

Es werde nun das äussere Quadrat $C'\ E'\ D'\ F'$ Fig. 263 construirt, indem man die Stärke der Eckpfeiler mit Rücksicht darauf festsetzt, ob dieselben äusserlich ganz frei stehen oder von andern Constructionstheilen unterstützt werden. Sodann trage

man die verschiedenen Constructionspunkte der Linie $b' c'$ auf die drei übrigen Seiten des innern Quadrats, und vollende die untere Ansicht der vier Tonnengewölbe, auf welche die Kuppel sich stützt.

Die Diagonale $b' d'$ des innern Quadrats ist der Durchmesser der innern Kugelfläche. Um den Mittelpunkt m_3' dieser Diagonale winden sich die ersten Projectionen der inneren horizontalen Leibungsfugen in concentrischen Kreisen rings herum. Um sie zu erhalten, beschreibe man über der Linie A'' B'' Fig. 262 mit der Länge $m_3' b'$ als Radius einen Halbkreis, theile denselben in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, jedoch so, dass kein Theilpunkt in die Punkte b_3'' und c_3'' fällt, in welchen jener Halbkreis von den lothrechten Linien $b'' b_3''$ und $c'' c_3''$ geschnitten wird, weil in der Begegnung zweier Systeme keine Fuge angebracht werden darf. Auch darf die Länge $b_3'' a_3''$ nicht zu gross sein, damit der Schlussstein des Tonnengewölbes nicht zu weit in das Kugelgewölbe eingreife.

Dem Kugelgewölbe gebe man im Scheitel $\frac{1}{30}$ der Diagonale $d' b'$ zur Stärke, und construire den Oberbogen des Kugelgewölbes, den Durchschnitt der beiden Tonnengewölbe, welche in der Richtung der Linie $A' B'$ durchschnitten werden, so wie den ganzen obern Theil des Kugelgewölbes in der Art, wie in dem Vorangegangenen gezeigt worden ist.

Zur Erzielung eines soliden Verbandes müssen die Steine des Tonnengewölbes in das Kugelgewölbe einbinden. Der Anfänger M, dessen erste Projection mit M' bezeichnet ist, bindet in die beiden Tonnengewölbe, welche von der Ecke b ausgehen; damit er aber auch noch den untern Theil des Kugelgewölbes aufnehme, erweitert man die beiden oberen ebenen Central-Lagerfugen desselben so weit, bis sie im Punkt α der innern Kugelfläche sich begegnen. Die Projectionen α' und α'' des Punktes α werden erhalten, wenn man die zweite Projection $b'' i''$ des untern Theils desjenigen grössten Kreisbogens ermittelt, dessen erste Projection die Linie $b' m_3'$ ist. Zu dem Ende braucht man nur aus einem beliebigen Punkte g'' des Kreisbogens $f'' a_3''$ Figur 262 die Linie $g'' h''$ normal auf $m'' x''$ zu construiren, mit der Länge $g'' h''$ aus dem Punkte m_3' Fig. 263 einen Kreisbogen

beschreiben, und den Durchschnittspunkt i' dieses Kreisbogens und der Linie $b' m_3'$ auf die Linie $g'' h''$ nach i'' zu projiciren: dieser Punkt i'' ist ein Punkt der verlangten Curve. Dies Verfahren wiederholt, giebt eine Anzahl von Punkten, durch welche die Curve $b'' i''$ gelegt werden kann. Sodann verlängere man die gerade Linie $n'' n_2''$ bis an die Curve $b'' i''$, projicire den Durchschnittspunkt α'' auf die Linie $b' m_3'$ nach α': die Punkte α'' und α' sind die verlangten Projectionen des Punktes α.

Fig. 267 Taf. XIX. zeigt die vier Steine, aus welchen die untere Steinschicht über dem Kämpfer besteht, der mittlere Eckstein ist der Anfänger M.

Der Stein N über dem Anfänger, dessen erste Projection in Fig. 263 mit N' bezeichnet ist, verbindet, wie der Anfänger M, beide Tonnengewölbe, welche von der Ecke b ausgehen. Seine Form ist am deutlichsten aus Fig. 268 Taf. XIX. zu erkennen. Diese Figur stellt nämlich die vier Steine vor, aus welchen die zweite Gewölbschicht besteht. Der Stein auf der äussern Ecke bildet ein normales Parallelepipedum; die zwei Steine, welche zur Seite dieses Parallelepipedums sich befinden, sind Steine des geraden Tonnengewölbes, und der vierte Stein auf der innern Ecke ist der Stein N. Die zweite Projection dieses Steins ergiebt sich unmittelbar; und zur Bestimmung der ersten Projection bedarf es nur noch der Bestimmung des Bogens $r_2' r_3'$ Fig. 263.

Die gerade Linie $r_2'' r_3''$ Fig. 262 ist die zweite Projection dieses Bogens; man braucht daher nur mit der Linie $l'' k''$, welche durch die Punkte r_2'', r_3'' normal auf $m'' x''$ construirt wird, aus dem Punkte m_3' zwischen den Schenkeln $b' a'$ und $b' c'$ einen Kreisbogen $r_3' r_2'$ zu beschreiben, um den verlangten Bogen zu erhalten.

In der dritten horizontalen Steinschicht hört die Verbindung der beiden Tonnengewölbe durch einen einzigen Stein auf, da zwischen beiden ein Stein des Kugelgewölbes angeordnet ist. Die Art und Weise dieser Verbindung ist am deutlichsten aus dem Diagonalschnitt Fig. 264 zu ersehen. Die Figur $r_2'' r_3'' p'' q''$ Fig. 262 ist die zweite Projection, und $r_2' r_3' p' q'$ die erste Projection dieses mittlern Steins. Zur Bestimmung dieser Projection construire man den Bogen $s_2' s_3'$ Fig. 263 mit dem Radius desjenigen klei-

nern Kreises der Kugel, welcher durch den Punkt s_2'' Fig. 262 normal auf $m'' x''$ gedacht wird; ziehe die geraden Linien $r_3' p'$, $r_2' q'$ in der Richtung nach dem Mittelpunkte m_3', und projicire die Punkte p', q' auf die durch den Punkt s_2'' parallel zu $A'' B''$ construirte gerade Linie $s_2'' s_3''$ nach p'' und q''.

Hierdurch erhält man zugleich noch die Projectionen des Steins O, dessen erste Projection mit O' bezeichnet ist, und dessen zweite Projection die Figur $r'' r_2'' q'' s_2'' s''$ vorstellt. Dieser Stein vermittelt in dieser Steinschicht den Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe. Fig 270 zeigt die Form dieses Steins, denselben von oben angesehen. In ähnlicher Weise erhält man die Projectionen der übrigen Steine P, Q, R und S, durch welche der Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe bewirkt wird.

Der Stein P vermittelt in der vierten horizontalen Steinschicht den Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe. Dasselbe geschieht vom Stein Q in der fünften Schicht, vom Stein R in der sechsten Schicht, und endlich vom Schlussstein S in der siebenten Schicht.

Fig. 271 zeigt den Stein P in der schiefen Projection gezeichnet von oben angesehen; Fig. 272 den Stein Q desgleichen; Fig. 273 den Stein R von oben und Fig. 274 denselben Stein von unten angesehen; Fig. 275 den Schlussstein S von oben und Fig. 276 denselben von unten angesehen. Die Figur 277 stellt endlich noch den Stein des Kugelgewölbes vor, dessen erste Projection in Fig. 263 mit T' bezeichnet ist.

Zur klarern Einsicht dieser Gewölbeconstruction ist in Fig. 266 noch der Verband der vier unteren horizontalen Steinschichten in der schiefen Projection gezeichnet worden.

§. 112.

Wir kommen zum Zeichnen der Steine der im vorigen Paragraphen beschriebenen Gewölbeconstruction.

Die einfacheren Steine der vorliegenden Gewölbeconstruction werden wir nicht weiter berühren; denn nach dem Bisherigen wird man im Stande sein dergleichen Zeichnungen anzufertigen, ohne Schwierigkeiten dabei zu finden. Dahingegen werden wir uns bemühen die Construction der vielfach zusammengesetzten

Steine dieses Gewölbes, so klar als möglich darzulegen. Zu diesen Steinen rechnen wir alle die Steine des Tonnengewölbes, welche den Verband mit dem Kugelgewölbe zu vermitteln haben, und die dieserhalb mit einem Theil im Tonnengewölbe, mit dem andern Theil aber im Kugelgewölbe sich befinden müssen.

Dahin gehört:

1) Der Anfänger M, dessen erste Projection in Fig. 263 mit M' bezeichnet worden ist. Die Fig. 267 Taf. XIX. zeigt diesen Stein in Verbindung mit den drei übrigen Steinen der untersten horizontalen Steinschicht. Diese Figur wird erhalten, wenn man construirt wie folgt:

Man construire die Linien CA und Cm_4 nach der Methode der schiefen Projection normal auf einander, mache $Cz_2 = C'z'_2$ Fig. 263, so wie $Co_2 = C'o_2'$ und ziehe die Linien z_2z und o_2o beziehungsweise parallel zu Co_2 und Cz_2; hierauf mache man jede der Linien o_2o und z_2z gleich lang mit $o_2'o'$ Fig. 263, und ziehe ob parallel o_2C, zb parallel z_2C. Die hervorgehende Figur Co_2obzz_2 stellt das untere horizontale Lager der ersten Steinschicht vor.

Den Mittelpunkt des Kugelgewölbes zu erhalten, mache man o_2m_4 gleich $o_2'm_4'$ Fig. 263, z_2A gleich $z_2'A'$, und ziehe Am_3 parallel Cm_4, m_4m_3 parallel CA: der Durchschnittspunkt m_3 beider Linien ist der Mittelpunkt der Kugelwölbung, und die Linien m_4m, Am_3 sind die Achsen der beiden Tonnengewölbe, welche von dieser Ecke ausgehen.

Damit das Haupt $Co_2o_3o_4e_4$ parallel der zum Grunde liegenden Projectionsebene sei, muss die Linie Cm_4 als horizontale Linie gedacht werden, welche parallel der Projectionsebene ist. Es behält alsdann das Haupt $Co_2o_3o_4e_4$ seine geometrische Form, die nun construirt wird, indem man aus dem Punkte m_4 mit dem innern Radius des Tonnengewölbes den Kreisbogen o_2o_3 beschreibt, denselben mit $o''n''$ Fig. 262 gleich lang macht, die lothrechte Linie Ce_4 der Höhe $C'''e_4'''$ Fig. 264 dieser Steinschicht gleich nimmt, e_4o_4 parallel Cm_4 construirt, und in der Richtung m_4o_3 die gerade Linie o_3o_4 zieht: dadurch erhält man das Haupt $Co_2o_3o_4e_4$ in seiner geometrischen Form.

Hierauf ziehe man die Linien e_4e_3, o_4x und o_3n parallel mit

der Linie $m_4 m$, construire aus dem Punkte m die concentrischen Kreisbogen $o n$ und $b n_2$, bestimme die Punkte α, a, e und e_2 aus den zugehörigen Coordinaten, indem man zur Bestimmung des Punktes e z. B. die Länge $z d$ gleich $o'' t''$ Fig. 262 macht, in d die lothrechte Linie $d e$ construirt, und auf dieselbe von d aus das Maass der Linie $t'' n''$ Fig. 262 abträgt. Eben so findet man die Punkte e_2, a und α.

Zur Vervollständigung der Figur fehlen noch die Punkte e_3 und x. Sie zu erhalten, werde die Linie $e_2 e_3$ in der Richtung $A e_2$ gezogen, und aus dem Durchschnittspunkte e_3 der Linien $e_2 e_3$ und $e_4 e_3$ die gerade Linie $e_3 x$ parallel mit $e_4 o_4$ construirt; die Figur $e_3 e_4 o_4 x$ stellt alsdann das obere horizontale Lager dieser Steinschicht vor, die Figur $e e_2 e_3 x \alpha a$ die centrale Lagerfuge für das eine Tonnengewölbe und $n n_2 \alpha x o_4 o_3$ diese Fuge für das andere Tonnengewölbe. Beide Lagerfugen schneiden sich in der geraden Linie $x \alpha$, deren Richtung durch den Mittelpunkt m_3 der Kugel geht. Die Bogen $a b$, $e z$ und $e_2 z_2$ sind elliptische Bogen. — Die Figuren B, D, E, F, G und H stellen die Schablonen dieser Steinschicht vor; und zwar B die der innern Leibung $z z_2 e_2 e$, D die der Häupter $C z_2 e_2 e_3 e_4$ und $C e_4 o_4 o_3 o_2$, E die des untern und F die des obern horizontalen Lagers, G die der Lagerfugen $o_3 o_4 x \alpha n_2 n$ und $e e_2 e_3 x \alpha a$, und H endlich die des innern Hauptes $b o n n_2$.

2) Die zweite Steinschicht über dem Kämpfer dargestellt in Fig. 268. Die Construction dieser Figur ist im Allgemeinen dieselbe, wie die der vorigen, und kann daher hier übergangen werden.

Die Figuren K, J und V stellen Schablonen dieser Steinschicht vor; nämlich K die Hauptschablone, V die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes, und J endlich die des obern horizontalen Lagers.

3) Der Stein O der dritten Steinschicht, dessen erste Projection in Fig. 263 mit O' bezeichnet ist. Die Fig. 270 zeigt diesen Stein in der schiefen Projection von oben angesehen. Diese Figur wird construirt, indem man das äussere Haupt $f h i l$ auf geometrischem Wege festsetzt; eben so auch das innere Haupt $r r_2 s_2 s$, welches parallel dem erstern ist. Der Punkt q wird

aus seinen Coordinaten ermittelt; und die übrigen Punkte ergeben sich sodann mit Hülfe der bereits ermittelten Punkte auf einfachem Wege.

Die Fig. *A* stellt hier die Schablone des äussern Hauptes vor, und *B* die der Lagerfuge des Tonnengewölbes.

Fig. 269 stellt zwei Steine der dritten Steinschicht vor, welche zur Hinterfüllung der Tonnengewölbe dienen.

4) Der Stein *P* der vierten Steinschicht, dessen erste Projection in Fig. 263 mit P' bezeichnet ist. Fig. 271 stellt diesen Stein vor, *A* die Schablone des äussern Hauptes und *B* die der Lagerfuge des Tonnengewölbes. Man erhält diese Figur, wenn man construirt wie unter 3) gezeigt ist.

5) Der Stein *Q*, dargestellt in Fig. 272. Diese Figur zu erhalten, construire man zunächst den Theil des Steins, welcher dem Tonnengewölbe angehört. Dies hat keine Schwierigkeiten, wenn man den Stein in derselben Lage zeichnet, welche er im Gewölbe hat. Dadurch werden die Punkte v, v_2, w, w_2, w_3, w_4, w_5 erhalten.

Die Punkte φ, σ, t und d werden aus ihren Coordinaten bestimmt. Für den Punkt σ z. B. geschieht dies, wenn man in Fig. 263 die Coordinaten des Punktes σ' ermittelt, indem man die Linie $m_4' m_3'$ als Abscissenachse wählt, und aus dem Punkte σ' die Linie $\sigma' \gamma'$ normal auf sie construirt. Sodann in Fig. 272 die Länge $m_4 \gamma = m_4' \gamma'$ Fig. 263 macht, $\gamma \varrho$ gleich $\gamma' \sigma'$ nimmt, und die lothrechte Linie $\varrho \sigma$ gleich der Entfernung des Punktes σ'' von der Achse $A'' B''$ macht. Eben so erhält man die übrigen Punkte.

Zur Bestimmung des Punktes x ziehe man in der Richtung $m_3 w_2$ die gerade Linie $w_2 x$. — Die Bogen $\sigma \varphi$, $d t$ und $y z$ sind concentrisch, und die gerade Linie $x y$ ist lothrecht.

Figur *A* bezeichnet die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes.

6) Der Stein *R*, dessen erste Projection die Figur $w' w_2' \sigma' \varepsilon' u_2' u' w_4' w_3'$ Fig. 263 ist. Die Fig. 273 zeigt diesen Stein von oben angesehen, und Fig. 274 denselben von unten gesehen.

Diesen Stein zu construiren, ziehe man die Linie $m_3 m_4$ nor-

mal auf der angenommenen Grundlinie der Zeichnung, und mache sie mit der Linie $m_4' m_3'$ Fig. 263 gleich lang. Damit nun der Stein in derselben Lage erscheine, welche er im Gewölbe hat, errichte man in m_4 die lothrechte Linie $m_4 y$, und mache den Winkel $y m_4 e$ gleich dem halben Centriwinkel des Schlusssteins. Man mache ferner die Länge $m_4 m = m_4' m'$ Fig. 263, und $m_4 f$ gleich dem innern Radius des Tonnengewölbes; ziehe $f u$ parallel $m_4 m$, und $m u$ parallel $m_4 f$. Alsdann mache man $m_4 y$ gleich der Höhe des Tonnengewölbes in Fig. 265, ziehe $y h$ normal auf $m_4 y$, und construire das Haupt $f e h$ nach der Form desselben in Fig. 265.

Aus den Punkten e und h ziehe man ferner die Linien $e d$ und $h a$ beide parallel mit $f u$, beschreibe aus m die concentrischen Kreisbogen $u w$ und $u_2 w_2$, und bestimme die Punkte ε und σ aus ihren Coordinaten, indem man $m_4 x$ gleich $m_4' \alpha_2'$ Fig. 263. macht, die Ordinate $x o$ gleich $\alpha_2' \varepsilon'$ nimmt, und die Höhen-Ordinate $o \varepsilon$ mit der Entfernung des Punktes ε'' von der Achse $A'' B''$ Fig. 262 gleich gross macht. Eben so werde $m_4 z$ gleich $m_4' \gamma'$ Fig. 263 gemacht; die Ordinate der Ebene, nämlich $z t$, werde gleich $\gamma' \sigma'$, und die Höhe $t \sigma$ werde gleich der Entfernung des Punktes σ'' von der Achse $A'' B''$ Fig. 262 gemacht. Sind in dieser Weise die Punkte ε und σ ermittelt, so ziehe man in der Richtung $m_3 \varepsilon$ die Linie εd, und in der Richtung $m_3 \sigma$ die Linie σa: ihre Durchschnittspunkte mit den Linien $e d$ und $h a$ bestimmen den Bogen $d a$. — Ganz eben so wird die Figur 274 construirt.

7) Der Schlussstein S des Tonnengewölbes dargestellt in Fig. 275 und Fig. 276. Diesen Stein zu construiren, verzeichne man zunächst auf geometrischem Wege das Haupt $g c d e$ desselben, und ziehe die geraden Linien $c a$, $d b$, $e u_3$ und $g u$ parallel mit der Achse $m_4 m_3$. Alsdann mache man $m_4 m$ gleich der Länge des Tonnengewölbes, construire mit dem innern Radius desselben die Kreisbogen $u u_3$ und $g e$, und vollende das ebene innere Haupt $u u_2 u_3 u_4$. Die Punkte ε und u_5 bestimme man aus den Coordinaten, indem man $m_4 \alpha_2$ gleich $m_4' \alpha_2'$ Fig. 263 macht, die Ordinate $\alpha_2 \beta$ gleich $\alpha_2 \gamma$ gleich $\alpha_2' \varepsilon'$ Fig 263 nimmt, und endlich $\beta \varepsilon$ so wie γu_5 gleich der Entfernung des Punktes ε' von der Achse

A″ B″ macht. Die Punkte *a* und *b* ergeben sich nun auch sogleich, denn die Richtungen $\varepsilon\, a$ und $u_5\, b$ schneiden sich im Punkte m_3.

A Fig. 275 bezeichnet die Schablone des äussern Hauptes dieses Steins, B Fig. 276 die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes, und C die des obern horizontalen Lagers des Schlusssteins.

Fig. 277 zeigt einen Stein des Kugelgewölbes der ersten ringsherum laufenden Schicht.

§. 113.

Zum Schluss dieses Kapitels geben wir noch folgende Aufgabe:

Zwei sich rechtwinklig schneidende Rechtecke A′ U′ B′ Z′ und O′ Q′ W′ X′ Fig. 278 Taf. XX, deren Abmessungen gleich sind, seien der Lage und Grösse nach gegeben; man soll über dem mittleren gemeinschaftlichen Theile dieser Figuren ein Kugelgewölbe, und über den übrigen Räumen Tonnengewölbe construiren, welche in den Linien A′ Z′ und U′ B′ durch Stirnmauern geschlossen werden, in den Linien O′ Q′ und X′ W′ aber offen an andere Constructionstheile sich anschliessen. Ferner soll ein Durchschnitt nach der Mittellinie C′ D′, so wie ein zweiter nach der Diagonale A′ B′ construirt werden.

Auflösung. Man theile die Linie W′ X′ in 7 gleiche Theile, und nehme einen Theil davon zur Stärke der Widerlager der Tonnengewölbe.

2) Construire man das Haupt oder den Stirnbogen Fig. 279. Durch diesen erhält man die Leibungsfugen der Tonnengewölbe, deren Grundriss nun angefertigt werden kann.

3) Gebe man den Mauern in ihrer Begegnung eine Vorlage zur Verstärkung, und construire hier vier Gurtbogen, welche dem Kugelgewölbe zu Stützpunkten dienen. Die Anordnung des Kugelgewölbes über diesem quadraten Raume mache man nach §. 111.

4) Construire man den Durchschnitt Figur 280, denselben nach der Linie C′ D′ des Grundrisses genommen. Die Construction dieses Durchschnittes geschieht auf demselben Wege, welcher in §. 111. befolgt wurde.

5) Schreite man zur Construction des Diagonalschnittes Fi-

gur 281. Zu dem Ende ziehe man die gerade Linie $A'''\,B'''$ parallel der Diagonale $A'\,B'$, projicire den Punkt A' nach A''' und B' nach B''', und betrachte die Linie $A'''\,B'''$ als Projectionsachse für diese Figur. Hierauf ermittele man im Grundriss alle die Linien, in welchen die durch $A'\,B'$ lothrecht gedachte schneidende Ebene die Lagerfugen und Stossfugen der Tonnengewölbe und des Kugelgewölbes schneidet, so wie die Punkte, in welchen die Leibungsfugen geschnitten werden, und projicire dieselben auf die Achse $A'''\,B'''$. Zu dem Ende ziehe man die Linie $b_3'\,b'$ Figur 278 parallel der Linie $A'\,1'$, und zwar in einer Entfernung, welche der K F Figur 279 gleich ist. Die Linie $b_3'\,b'$ ist alsdann die erste Projection der durch den Punkt K Fig. 279 gedachten Durchschnittslinie des oberen horizontalen Lagers und der centralen Lagerfuge am Anfänger im Tonnengewölbe.

Das obere horizontale Lager des Anfängers wird in der geraden Linie $A_2\,b$ durchschnitten, deren erste Projection $A'\,b'$ Figur 278 ist; und die centrale Lagerfuge dieses Steins wird in der Linie $b\,i$, deren erste Projection $b'\,i'$ ist, durchschnitten. Die schneidende Ebene geht durch den Mittelpunkt m des Kugelgewölbes, dasselbe geschieht von jeder centralen Lagerfuge des Tonnengewölbes; deshalb werden diese centralen Lagerfugen von der schneidenden Ebene in geraden Linien geschnitten, welche durch den Mittelpunkt m gehen. Aus diesem Grunde projicire man den Punkt m' Fig. 278 nach m''' Fig. 281, construire die Linie $A'''\,A_4'''$ Fig. 281 normal auf $A'''\,B'''$, und mache $A'''\,A_2'''$ gleich der Höhe E F Fig. 279 des Anfängers. Ferner ziehe man die Linie $A_2'''\,b'''$ Fig. 281 parallel $A'''\,B'''$, mache sie gleich lang mit $A'\,b'$ Fig. 278, ziehe die gerade Linie $b'''\,m'''$, und projicire auf diese den Punkt i' Fig. 278 nach i'''. Man projicire endlich noch den Punkt n' Fig. 278 auf die Linie $A'''\,B'''$ Fig. 281 nach n''', so ist $A'''\,A_2'''\,b'''\,i'''\,n'''$ die Durchschnittsfigur der untersten Steinschicht des Tonnengewölbes. Die Stossfugen $c'\,d'$ und $f'\,f_2'$ Fig. 278 werden in den Punkten c_2' und o' geschnitten; wenn man daher diese Punkte auf die Achse $A'''\,B'''$ nach $c_2'''\,o'''$ projicirt, und in denselben die Linien $c_2'''\,d_2'''$ und $o'''\,o_2'''$ normal auf $A'''\,B'''$ construirt, so stellen diese die Linien vor, in welchen jene zwei Stossfugen der untersten Schicht geschnitten werden.

Wir kommen zur Construction der Durchschnittsfigur der zweiten Steinschicht des Tonnengewölbes. In Figur 278 ziehe man die Linie b_4' e' parallel der Linie A' I', und zwar in der Entfernung, welche gleich G N Fig. 279 ist. Diese Linie bezeichnet alsdann die erste Projection der Linie, in welcher das obere horizontale Lager der zweiten Steinschicht von der centralen Lagerfuge derselben Schicht geschnitten wird.

Die schneidende Ebene schneidet das obere horizontale Lager der zweiten Steinschicht in einer horizontalen Linie, deren erste Projection A' e' ist; die centrale Lagerfuge aber in der Linie $e\,i_2$, deren erste Projection $e'\,i_2'$ ist. Man erhält daher die Durchschnittsfigur dieser Steinschicht, wenn man $A_2'''\,A_3'''$ Figur 281 gleich lang mit F G Figur 279 macht, $A_3'''\,e'''$ parallel $A'''\,B'''$ zieht, den Punkt e' Fig. 278 nach e''' Fig. 281 projicirt, die gerade Linie $e'''\,m'''$ zieht, und auf diese den Punkt i_2' Figur 278 nach i_2''' Figur 281 projicirt: die so erhaltene Figur $A_2'''\,A_3'''\,e'''\,i_2'''\,i'''\,b'''$ ist dann der Durchschnitt der zweiten Steinschicht. Auf demselben Wege findet man die Durchschnittsfiguren der übrigen Steinschichten. Die innere Leibung des Tonnengewölbes wird von der schneidenden Ebene in dem elliptischen Bogen $n'''\,i'''\,i_2'''\,g'''\,\sigma'''$ durchschnitten; die Leibung des verstärkten Gurtbogens $a_2'\,a_3'\,a_4'\,a_5'$ aber in der elliptischen Linie $a'''\,\alpha'''$; und die innere Kugelfläche in einem Kreisbogenstück des grössten Kreises derselben. Die Fugen des Hauptes vom verstärkten Gurtbogen, dessen erste Projection die Linie $z'\,a_6'$ Fig. 278 ist, haben den Punkt m_2' zum Mittelpunkt. Wenn man daher diesen Punkt m_2' auf die gerade Linie $A'''\,B'''$ nach m_2''' projicirt, so müssen sämmtliche Centralfugen wie $\beta_2'''\,\beta_3'''$ Figur 281 des Gurtbogens durch den Punkt m_2''' gehen.

Aus demselben Grunde gehen die Centralfugen $v'''\,t'''$ des Gurtbogens über $p'\,p_2'$ durch den Punkt m_3''', welcher die dritte Projection des Mittelpunktes m_3 vorstellt, dessen erste Projection mit m_3' bezeichnet ist; und die Richtung der Centralfugen des Kugelgewölbes geht durch den Punkt m''', die dritte Projection des Mittelpunktes m. Der Durchschnitt des Tonnengewölbes auf der anderen Seite des Kugelgewölbes ist dem ersteren Durchschnitt völlig gleich; nur die Lage ist entgegengesetzt.

Der in Fig. 282 dargestellte Stein ist der Schlussstein des verstärkten Gurtbogens über dem Raume $x' y' y_2' x_2'$, und Fig. 283 der Stein zur Seite des Schlusssteins. Beide Steine vermitteln die Verbindung des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe, weshalb diese Steine zum Theil in das Tonnengewölbe, zum Theil in das Kugelgewölbe eingreifen. Die untere Ansicht des Schlusssteins ist die Fig. 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10 . 11 . 12 . 13 . 2. Fig. 278, und die obere Ansicht die Figur 14 . 15 . 16 . 9 . 8 . 17 . 18 . 19.

[Die punktirte Linie 16 . 10 Fig. 278 ist unrichtig, dieselbe muss durch die Punkte 16 und 9 gehen.]

Die Figur 21 . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 27 . 26 . 25 . 24 . 23 . 22 ist untere Ansicht, und die Fig. 31 . 18 . 17 . 8 . 27 . 28 . 29 . 30 die obere Ansicht des Steins zur Seite des Schlusssteins. Durch die Stossfuge, deren erste Projection die Linie 31 . 32 ist, wird dieser Stein in zwei Theile zerlegt. Beide Steine construirt man aus den rechtwinkligen Coordinaten aller Eckpunkte, die gerade Linie 1 . m' als Abscissenachse gedacht.

Fünftes Kapitel.

Vom scheitrechten Bogen und dem ebenen Gewölbe.

§. 114.

Ein Gewölbebogen, dessen untere Wölbungsfläche eine horizontale oder eine geneigte Ebene ist, heisst ein scheitrechter Bogen.

Wenn die respective Festigkeit der Steine gross genug wäre, um beträchtlicheren Lasten hinreichend widerstehen zu können, im Fall die Steine nur an den beiden Enden unterstützt würden: so wäre die zweckmässigste Construction des scheitrechten Bogens, denselben aus einem einzigen Stein zu bilden, welcher nur an seinen Enden gehörig unterstützt zu werden brauchte. Allein die Erfahrung lehrt, dass in diesem Falle die Steine für die Dauer keinen hinlänglichen Widerstand leisten.

Nur bei geringen Thür- oder Fensteröffnungen, und bei einem harten quarzreichen Sandstein kann man allenfalls den scheitrechten Bogen aus einem einzigen Stein construiren. Es muss aber alsdann dieser Stein mit einem Schutzbogen versehen werden, welcher die Last des über dem scheitrechten Bogen befindlichen Mauerwerks aufnimmt, und dieselbe den Stützpunkten zuführt. Dieser Schutzbogen darf nicht sogleich untermauert werden, wenn derselbe einen reellen Nutzen gewähren soll; weil jeder belastete Bogen einem bald mehr, bald weniger beträchtlichen Setzen unterworfen ist, wodurch der Last Gelegenheit gegeben wird, mit ihrer ganzen Kraft auf den scheitrechten Bogen zu wirken, wenn die Untermauerung des Schutzbogens zu früh erfolgt ist. Daher darf die Untermauerung des Schutzbogens nicht eher erfolgen, bis ein gehöriges Setzen des Mauerwerkes Statt gefunden hat. Auch muss man dafür sorgen, dass die beiden Enden des Steins ein Auflager von einem Fuss Länge we-

nigstens erhalten, und dass dieselben gut eingefugt werden. Diese Vorsicht ist sehr wichtig, weil es erwiesen ist, dass ein fester Körper, welcher an beiden Enden fest eingemauert ist, eine doppelt so grosse Last zu tragen im Stande ist, als wenn er frei auf seinen Stützen liegt.

Wenn aber ein scheitrechter Bogen, welcher aus einem einzigen Stein construirt worden ist, nicht mit einem Schutzbogen versehen wird, so dass das Mauerwerk über dem scheitrechten Bogen unmittelbar auf demselben ruht, alsdann findet sicherlich nach einiger Zeit ein Brechen des Sandsteins Statt, wenn die Höhe des Mauerwerkes über demselben nicht unbeträchtlich ist.

Eben derselbe Fall tritt ein, wenn man die Sohlbank einer Fensteröffnung aus einem einzigen Stein construirt, und dessen Enden in die Fensterpfeiler gut einmauert. Die grössere Masse der Fensterpfeiler ist hier einem bedeutenderen Setzen unterworfen, als die Masse der Fensterbrüstung zwischen den Fensterpfeilern; und es wirkt deshalb die Masse der Fensterpfeiler auf Zerbrechen des Steins, wenn man nicht die Vorsicht gebraucht, die Sohlbank dann erst zu untermauern, nachdem ein völliges Setzen des Mauerwerkes Statt gefunden hat.

§. 115.

Da der scheitrechte Bogen nicht immer aus einem einzigen Stein angefertigt werden kann, so sieht man sich meistentheils genöthigt, denselben aus mehreren Steinen in der Art zu construiren, dass der eine dem andern als Widerlager diene. Zu dem Ende ordnet man den scheitrechten Bogen in dem Princip an, dass der normale Querschnitt desselben, so wie auch der eines jeden Steins ein Trapez vorstellt, dessen obere Parallele grösser als die untere ist. Dies ist nothwendig, damit kein Gewölbstein zwischen den anderen Steinen hindurchgleiten kann.

Um den Fugenschnitten eine schickliche Richtung zu geben, richtet man die Fugen des Hauptes entweder auf einen und denselben Punkt *c* Figur 284 Tafel XXI., welcher die Spitze eines über der lichten Weite *a b* construirten gleichseitigen Dreiecks *a b c* ist; oder man lässt diese Fugen in verschiedenen Punkten sich schneiden. Das erstere Princip ist jedoch gebräuchlicher und zugleich auch zweckmässiger, als das letztere. Es ist nicht noth-

wendig, dass das Dreieck *a b c* stets gleichseitig sei; denn gute Gründe erheischen zuweilen, dass man dem Fugenschnitt eine weniger schräge Richtung gebe, als das gleichseitige Dreieck zulässt. In diesem Falle macht man das Dreieck *a b c* gleichschenklig; gewöhnlich in der Weise, dass die Höhe *o* c des Dreiecks der Grundlinie *a b* gleich werde.

§. 116.

Die Anzahl der Steine des scheitrechten Bogens richtet sich zum Theil nach der lichten Weite desselben, zum Theil aber auch nach der Grösse der Steine, welche man hat. Wie gross, oder wie klein aber auch die lichte Weite des Bogens sein mag, oder wie gross die Steine sein mögen, aus denen der Bogen construirt werden soll, in jedem Falle muss die Anzahl der Steine ungerade sein, damit die Mitte des scheitrechten Bogens von einem Schlussstein eingenommen werde. Eine Fuge in der Mitte anzuordnen, wäre fehlerhaft, denn die Festigkeit des Bogens würde dadurch bedeutend verringert werden.

§. 117.

Bei dem Princip der Structur des scheitrechten Bogens, welchen Fig. 284 vorstellt, darf die untere horizontale Lagerfuge der beiden äussersten Steine A und B nicht in der Richtung der geraden Linie *a b* sich befinden, da sonst in den Punkten *a* und *b* zu spitze Winkel hervorgehen würden, durch welche die Steine A und B an dieser Stelle zu sehr geschwächt würden. Aus diesem Grunde legt man die Lagerfugen *n m* und *q p* um so viel niedriger, als nöthig ist, um für die Steine A und B in den Punkten *a* und *b* eine hinreichende Stärke zu erhalten. Der Stein A hat alsdann die Form welche Fig. 285 zeigt.

Von dem Schlussstein C, dessen Form die Figur 286 zeigt, ist noch zu bemerken, dass derselbe zuletzt bearbeitet wird, nachdem die übrigen Gewölbsteine bereits verlegt sind. In der Ausführung versetzt man nämlich die erforderlichen Bogensteine in der Reihenfolge, dass an beiden Widerlagern zu gleicher Zeit begonnen, und der Schlussstein zuletzt versetzt wird. Mit welcher Sorgfalt auch der Arbeiter bei der Verzeichnung, Bearbeitung und Legung der Steine zu Werke gegangen sein mag, immerhin wird der für den Schlussstein übrig bleibende Raum nie

vollkommen mit dem Constructionsrisse übereinstimmen. Deshalb wartet man mit der Bearbeitung des Schlusssteins so lange, bis alle übrigen Steine versetzt sind, und nimmt dann an Ort und Stelle das Maass für den Schlussstein. Damit aber derselbe die Fugen der übrigen Steine fest zusammendrücke, wird er so gross bearbeitet, dass er nur mit Mühe zwischen die übrigen Steine eingebracht und vermittelst der Handramme behutsam und mit Vorsicht eingetrieben werden kann.

§. 118.

Figur 287 zeigt eine andere Construction des scheitrechten Bogens. Zur Beseitigung der spitzen Winkel, welche hervorgehen, wenn die Ebenen sämmtlicher Lagerfugen in einer geraden Linie sich schneiden, sind die Lagerfugen hier in der Weise gebrochen, dass sie auf der Ebene der innern Wölbung, so wie auch auf der Ebene des horizontalen Rückens, normal stehen. Die Fig. 288 zeigt die Form des Anfängers D.

In Fig. 289 ist das Princip der Structur noch dasselbe; mit dem Unterschiede jedoch, dass zur Verminderung der lichten Spannweite, die beiden Anfänger nicht bündig auf den Widerlagsmauern liegen, sondern zum Theil überkragen; welche Anordnung sehr zweckmässig ist.

§. 119.

Unter allen Gewölben ohne Ausnahme übt das scheitrechte Gewölbe den grössten Schub gegen die Widerlager aus; weshalb die letzteren zur Stärke $\frac{2}{3}$ der lichten Weite erhalten. Dergleichen starke Widerlager können aber nicht immer, und nicht überall angebracht werden; daher sah man sich genöthigt, den Schub des scheitrechten Bogens gegen die Widerlager durch künstliche Verbindungen zu vermindern, oder wohl gar ganz aufzuheben. Diese Verbindungen sind in den Figuren 290 bis 294 dargestellt.

In Fig. 290 sind gerade Dübel oder Dollen *a*, *a*, *a* auf der einen Seite des Bogens angeordnet, welche normal auf den Lagerfugen in den Stein eingegossen werden; auf der andern Seite des Bogens sind dagegen Klammern *b*, *b*, *b* angeordnet, welche entgegengesetzte Haken haben, und die deshalb S genannt werden. Die Dübel können entweder von hartem Holz angefertigt

werden, welches man durch Anbrennen dauerhafter macht; oder sie können von Kupfer sein. Die S dagegen werden nur aus Eisen, oder aus Kupfer angefertigt. Die Dübel ersetzt man auch wohl durch Trageisen *a b* Fig. 291. Dergleichen Trageisen werden doppelt, nach paralleler Richtung in einiger Entfernung von einander auf die hohe Kante gelegt, unter dem scheitrechten Bogen angebracht.

Diese Trageisen werden in Nuthen gelegt, welche so tief in die Gewölbsteine eingearbeitet werden müssen, als das Trageisen hoch ist. Das Trageisen hat an jedem Ende eine Oese, durch welche Anker *c d* und *e f* geschoben werden, welche so lang sind, dass sie durch mehrere Steinschichten hindurchgehen. Die Anker verhindern das Einbiegen der Trageisen, und diese verhindern das Senken des scheitrechten Bogens. — Anstatt der Anker *c d* und *e f* kann man auch Platten von Gusseisen anbringen, durch welche beide Trageisen hindurchgehen; vorgeschobene Splinte verhindern das Trennen der Platten vom Trageisen.

Eine andere Verbindung zeigt Fig. 292. Das Trageisen ist hier auf den Rücken des Gewölbebogens gelegt, um die Steine vermittelst der Hängeeisen T tragen zu können. Die Hängeeisen haben oben eine Oese, durch welche das Trageisen hindurchgeht.

Die Anordnung zweier Trageisen über einander zeigen Figur 293 und Fig. 294. Durch diese Verbindung wird der scheitrechte Bogen in einen Körper verwandelt, welcher nur eines festen Auflagers bedarf; ein Horizontalschub gegen die Widerlager kann aus ihm nicht mehr hervorgehen.

§. 120.

Häufig erfordert das horizontale und das lothrechte Princip der Structur eines Bauwerkes, dass die schrägen concentrischen Fugenschnitte eines scheitrechten Bogens äusserlich nicht wahrgenommen werden dürfen. In diesem Falle ordnet man in der äusseren Ansicht lothrechte Fugen an, welche aber nicht durch die ganze Dicke des Bogens hindurch gehen, sondern nur 4 bis 6 Zoll zur Breite haben. Zwischen diesen lothrechten Fugen befinden sich die eigentlichen Lagerfugen.

Die Figuren 298, 299 und 300 Tafel XXII. zeigen dies

Princip der Structur; Fig. 298 nämlich die Ansicht des scheitrechten Bogens von vorn, Fig. 299 den lothrechten Längendurchschnitt, und Figur 300 den Grundriss desselben von oben angesehen.

Fig. 301 zeigt die Construction des Schlusssteins, Fig. 302 und Fig. 303 die des Steins zur Seite des Schlusssteins, Fig. 304 und Fig. 305 die des zweiten Steins neben dem Schlussstein, und Fig. 306 zeigt die Construction des Anfängers.

In Frankreich construirt man den scheitrechten Bogen häufig mit sogenannten Verkröpfungen, wie die Figuren 307 und 308 dies Princip darstellen. Fig. 307 stellt den Längendurchschnitt und Figur 308 den Grundriss dieses scheitrechten Bogens vor, denselben von oben angesehen. Die Verkröpfung ist entweder auf den Häuptern sichtbar, oder sie ist nur im Innern des Bogens angebracht. Der Schlussstein erhält keine Verkröpfung, indem er sonst seinem Zweck durchaus nicht entsprechen würde. Es kann nicht in Abrede gestellt werden, dass dergleichen Verkröpfungen die Lagerung der Steine hinreichend sichern; dahingegen verhindert die Verkröpfung die innige Verbindung der einzelnen Steine unter einander ausserordentlich, indem der Arbeiter die gebrochene Ebene der Verkröpfung nicht so scharf und so accurat darzustellen vermag, wie dies bei der nicht gebrochenen Ebene der Fall ist. Aus diesem Grunde sind diese Verkröpfungen zu verwerfen.

In Fig. 309 und Fig. 310 haben wir den Stein neben dem Anfänger in der schiefen Projection dargestellt; und zwar Figur 309 mit der Ansicht der Verkröpfung, Fig. 310 aber mit der Ansicht der Nuthe.

§. 121.

Wir kommen zu den ebenen Gewölben. Diese Art von Gewölben werden so angeordnet, dass die verschiedenen Steinschichten derselben immer parallel sind mit den Seiten der Mauern, welche als Widerlager dienen. Wenn daher ein Gewölbe von dieser Art über einem Raume erbaut wird, welcher im Grundrisse ein beliebiges n Eck bildet, so werden die inneren Leibungskanten der Lagerfugen im Grundrisse ebenfalls n Ecke bilden, welche unter sich und der ganzen Figur ähnlich sind.

Sollte aber ein kreisförmiger Raum mit einem ebenen Gewölbe überbaut werden, so würden die inneren Leibungskanten der Lagerfugen concentrische Kreise beschreiben, zwischen welchen die verschiedenen Steinschichten ringsherum laufen; und der Schlussstein würde die Form des abgekürzten Kegels haben. Das Princip der Structur des ebenen Gewölbes ist im Allgemeinen dasselbe wie beim Kuppelgewölbe, mit dem Unterschiede nur, dass die horizontalen ringsherum laufenden Steinschichten nicht in verschiedenen Ebenen über einander, sondern alle in einerlei Ebene sich befinden.

§. 122.

Fig. 295 ist der Grundriss eines ebenen Gewölbes über einem quadraten Raume; und Fig. 296 der normale Querdurchschnitt desselben nach der Linie A′ B′ des Grundrisses. Um dies Gewölbe zu construiren, setzt man zunächst den Durchschnitt Fig. 296 fest, zieht alsdann im Grundrisse die Diagonalen $a'b'$ und $c'd'$, und projicirt die Punkte e'', n'', m'' und o'' auf die Diagonale $a'b'$ nach e', n', m' und o'. Hierauf construirt man aus diesen Punkten zwischen den sich kreuzenden Diagonalen gerade Linien parallel mit den Mauerseiten, welche als Widerlager dienen, dadurch gehen alle die ähnlichen Quadrate hervor, zwischen welchen die horizontalen Steinschichten sich befinden.

Die Stossfugen werden so angeordnet, dass ein guter Verband hervorgehe, und dass in den Diagonalen, wo zwei verschiedene Steinschichten sich begegnen, keine Fuge komme. — Die Fig. 296 sei zugleich noch der Durchschnitt eines ebenen Gewölbes, dessen Construction Fig. 297 im Grundriss zeigt. Da dergleichen ebene Gewölbe aussergewöhnliche starke Widerlager erfordern, wendet man sie nur selten an, und auch nur bei kleineren Räumen. Grosse Räume mit ebenen Gewölben überwölben zu wollen, würde jedenfalls sehr gewagt sein.

Sechstes Kapitel.

Von den Klostergewölben.

§. 123.

Das Klostergewölbe entsteht, wenn man von zwei sich durchschneidenden Tonnengewölben, welche gleiche Höhe haben, die Stirnenden weglässt und dafür die Stücke beibehält, die sich mit geraden Kämpferlinien an die Umfassungsmauern anschliessen und hier ihr Widerlager finden. Alle vier Umfassungsmauern sind sonach Widerlagsmauern, an denen die Kämpferlinie zusammenhängend fortläuft.

Die beiden Tonnengewölbe schneiden sich in krummen Linien, welche Grate genannt werden.

Beim Klostergewölbe tritt die scharfe Kante des Grates nach aussen, und bildet deshalb in der Gewölbfläche eine vertieft liegende einwärts springende Kante. Die Form dieses Grates hängt von der Form der sich schneidenden Gewölbflächen, und von der Lage der Achsen beider Gewölbtheile ab.

Ist die Form und die Lage zweier cylindrischen Flächen gegeben, so ist nothwendigerweise auch die Form ihrer Durchschnittslinie gegeben; und ist umgekehrt die Form der Durchschnittslinie zweier cylindrischen Flächen gegeben, so wie noch die Form der einen, und die Lage ihrer Achsen: so ist auch die Form der andern cylindrischen Fläche hierdurch völlig bestimmt. Wenn daher die lichten Weiten der sich schneidenden Tonnengewölbe einander gleich sind, so sind auch die Richtungslinien dieser Gewölbe einander gleich. Sind hingegen die lichten Weiten ungleich, so sind auch die Richtungslinien beider Gewölbe ungleich. Ist die eine ein Halbkreis, so hat die andere die Form einer Ellipse.

Von den zwei Richtungslinien der Tonnengewölbe kann die eine beliebig gegeben sein; die andere hängt alsdann von der

ersten, so wie noch von der Bedingung ab, dass die erste Projection der Durchschnittslinie beider Gewölbflächen in die Diagonale des Rechtecks falle, über welchem das Klostergewölbe construirt werden soll. Hieraus geht hervor, dass der Grundriss eines regelmässigen Klostergewölbes entweder die Form eines Quadrats oder eines Rechtecks haben muss, wenn dasselbe zwei sich schneidende Grate haben soll.

Es kann aber auch über jedem andern regulären oder irregulären Viereck ein Klostergewölbe construirt werden; dasselbe erhält alsdann aber mehr als zwei Grate.

§. 124.

Das Princip der Structur des Klostergewölbes ist fast dasselbe wie beim horizontalen Gewölbe. Die ringsherum laufenden horizontalen Steinschichten liegen aber nicht in einerlei, sondern in verschiedenen Ebenen über einander, wie beim Kuppelgewölbe. Uebrigens bildet jede Steinschicht für sich ein geschlossenes Ganzes. Die Gewölbstärke des Klostergewölbes wird mit der Stärke des Tonnengewölbes ganz gleich gehalten werden können; die Stärke der Widerlager braucht aber nur halb so gross zu sein, als dies beim Tonnengewölbe über demselben Raume der Fall ist.

§. 125.

Die Figuren 311 bis 315 auf Taf. XXIII. stellen die Projectionen eines Klostergewölbes vor, dessen erste Projection Figur 311 ein Rechteck ist. Figur 312 zeigt den Durchschnitt nach der Linie C′ D′ des Grundrisses, Fig. 313 den Durchschnitt nach der Linie A′ B′, Fig. 314 zeigt die Projectionen eines schiefen Schnittes nach der Linie *E′ F′*, und Fig. 315 endlich den geraden Durchschnitt nach der Linie *G′ H′*, welcher aber im mittlern Gewölbtheile nicht lothrecht, sondern in der Richtung der Lagerfuge gedacht ist.

Der Construction dieses Klostergewölbes ist der halbkreisförmige Bogen über der kleinern Seite des Rechtecks, welches der Grundriss bildet, zum Grunde gelegt. Da der Bogen über der grösseren Seite des Rechtecks mit dem halbkreisförmigen Bogen über der kleineren Seite in den beziehlich gleichen Punkten gleiche Höhe haben muss, ist derselbe ein elliptischer Bogen.

Die Fugen dieses in Fig. 313 dargestellten elliptischen Bogens schneiden sich nicht in ein und demselben Punkte, wie dies beim halbkreisförmigen Bogen der Fall ist, sondern sie fallen in die Richtung der Curvennormale, deren Construction früher beim elliptischen Bogen in §. 67 gegeben ist.

Erhalten die Gewölbtheile gleiche Stärken, so folgt leicht, dass der äussere Grat des Gewölbes mit dem innern nicht in ein und dieselbe Verticalebene zu liegen kommen kann; welches aber der Solidität keinen weitern Abbruch verursacht.

§. 126.

Die Projectionen des Klostergewölbes zu verzeichnen, setze man zunächst die Form des Rechtecks fest, welches die Umfassungsmauern im Grundriss Fig. 311 bilden sollen. Hierauf construire man den in Fig. 312 gegebenen halbkreisförmigen Bogen, theile denselben in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, und verbinde die gleich hochliegenden Theilpunkte, welche die inneren Fugenpunkte vorstellen, durch gerade Linien: diese laufen parallel mit der Achse $J\,K$, und stellen die zweiten Projectionen der horizontalen inneren Leibungsfugen vor. Sodann projicire man normal auf der Linie $J\,K$ die Fugenpunkte i'', l'', n'', p'' auf eine der Diagonalen des Grundrisses nach i', l', n', und p'; ziehe aus diesen gefundenen Punkten Parallelen mit den Umfassungsmauern, und verlängere sie bis zum Durchschnitt mit der andern Diagonale des Grundrisses: so erhält man in diesen Linien die zwei Dimensionen der Rechtecke, welche von den Projectionen der inneren horizontalen Leibungsfugen gebildet werden.

Die Projectionen der Stossfugen, welche auf jenen Fugen normal stehen, können nun beliebig angeordnet werden; nur darf in der Durchschnittslinie zweier Systeme von Gewölbflächen keine Fuge angebracht werden, weshalb keine Stossfuge den Grat des Gewölbes schneiden darf.

Die Figur 313 zu erhalten, projicire man normal auf $L\,M$ den Punkt i' des Grundrisses nach i''', den Punkt l' nach l''', den Punkt n' nach n''' und den Punkt p' nach p'''; gebe diesen Punkten mit den in Fig. 311 beziehlich gleichen Punkten gleiche Höhen über der Linie $L\,M$, und lege durch sie den elliptischen Bogen. Sodann bestimme man die Richtung der Lagerfugen für

diesen Durchschnitt, und construire den äussern Bogen, indem man den äusseren Fugenpunkten dieses Bogens mit den in Figur 312 beziehlich gleichen Punkten einerlei Höhe über der Linie *L M* giebt.

Werden endlich noch je zwei innere Fugenpunkte dieses Durchschnitts, welche in einerlei Horizontalebene liegen, durch gerade Linien verbunden, so sind diese parallel mit der Linie *L M*, und stellen die dritten Projectionen der inneren horizontalen Fugen vor.

Die Projectionen der Stossfugen sind im Grundriss festgesetzt, ihre Lage ist daher vollkommen bestimmt. Um nun aber die Projectionen dieser Fugen in Fig. 312 zu erhalten, braucht man nur die ersten Projectionen derselben normal auf der Linie *J K* zwischen die horizontalen Leibungsfugen zu projiciren. Eben so werden diese Fugen in Fig. 313 erhalten. In beiden Figuren bilden die Projectionen der Stossfugen gerade Linien, welche auf den horizontalen Leibungsfugen normal stehen.

Die Fig. 314 zu erhalten, projicire man im Grundriss alle Fugenpunkte auf die Durchschnittslinie *E' F'*, und verfahre dann eben so, wie vorhin bei der Construction des in Fig. 313 vorgestellten Durchschnitts gezeigt wurde.

Die Projectionen der inneren horizontalen Fugen bilden auch hier gerade Linien, welche mit der Linie *R S* parallel laufen. Die Projectionen der Stossfugen aber erscheinen als Curven, wegen der schiefen Ansicht des Bogens, den sie im Raum bilden.

Fig. 315 wird eben so erhalten wie Fig. 312.

Die Figuren 316 bis 321 zeigen die perspectivischen Bilder von verschiedenen Steinen dieses Gewölbes. Fig. 316 stellt die Form des Anfängers vor, dessen erste Projection in Fig. 311 mit *a'* bezeichnet worden ist; *q* bezeichnet die Stirn- oder Kopfschablone dieses Steins. Fig. 317 stellt den Anfänger vor, welcher die Ecke der Mauer einnimmt, und dessen erste Projection in Fig. 311 mit *b'* bezeichnet ist; *r* bezeichnet hier die Stirnschablone im elliptischen Haupte, *s* die in dem andern Haupte, und *t* bezeichnet die Schablone von dem untern Lager dieses Steins.

In Fig. 318 ist der Gratstein vorgestellt, dessen erste Pro-

jection in Fig. 311 mit c' bezeichnet ist; u und v sind die Schablonen seiner beiden Häupter.

Fig. 319 zeigt den Gratstein, dessen erste Projection d' ist; w und z die Stirnschablonen desselben.

Die Figuren 320 und 321 stellen den Schlussstein vor, und zwar Fig. 320 eine Ansicht desselben von unten, und Fig. 321 eine Ansicht von oben.

Auf Tafel XXIV ist noch in Fig. 337 die innere Wölbungsfläche von dem einen Quadrant des Klostergewölbes, dessen erste Projection die Figur $v' g' q'$ Fig. 311 ist, mit den zugehörigen Lagerfugen ausgetragen worden. Diese Figur wird in folgender Weise construirt.

Man mache die gerade Linie $(f)\,(q)$ gleich dem Viertelskreise $g'' q''$ Fig. 312, theile dieselbe in $4\frac{1}{2}$ gleiche Theile, indem man $(f)\,(h) = (h)\,(k) = (k)\,(m) = (m)\,(o)$ macht, und $(o)\,(q)$ halb so gross, als jeder von jenen 4 Theilen ist.

Durch die Theilpunkte (f), (h), (k), (m) und (o) ziehe man gerade Linien normal auf $(f)\,(q)$, und mache dieselben mit den inneren Leibungskanten gleich lang; alsdann wird

$(f)\,(g) = (f)\,(v) = f' v'$ Fig. 311,
$(h)\,(i) = (h)\,(u) = h' u'$ — „ —,
$(k)\,(l) = (k)\,(t) = k' t'$ — „ —,
$(m)\,(n) = (m)\,(s) = m' s'$ — „ —,
$(o)\,(p) = (o)\,(r) = o' r'$ — „ —.

Legt man nun durch die Endpunkte dieser parallelen Linien entsprechende Curven, so stellen dieselben die zwei niedergeschlagenen Gratlinien vor, deren erste Projection die halben Diagonalen $g' q'$ und $v' q'$ Fig. 311 sind.

Hierauf mache man $(o)\,(y) = (m)\,(z) = (k)\,(z_2)$, gleich der Stärke des Gewölbes, wie solche Fig. 312 angiebt, und die Länge $(h)\,(z_3)$ gleich der Länge i'' x'' Fig. 312; durch diese Punkte ziehe man gerade Linien parallel mit $(v)\,(g)$,

mache $(\alpha)\,(\beta) = \alpha''' \beta'''$ Fig. 313,
$(\gamma)\,(\delta) = \gamma''' \delta'''$ — „ —,
$(\varepsilon)\,(\varphi) = \varepsilon''' \varphi'''$ — „ —,
$(\pi)\,(\sigma) = \pi''' \sigma'''$ — „ —,

und ziehe die geraden Linien $(\pi)\,(u)$, $(\varepsilon)\,(t)$, $(\gamma)\,(s)$, $(\alpha)\,(r)$, $(p)\,(\beta)$,

$(n)(\delta)$, $(l)(\varphi)$ und $(i)(\sigma)$; die hierdurch begränzten Ebenen, wie $(\pi)(u)(i)(\sigma)$ etwa, bezeichnen dann die niedergeschlagenen Lagerfugen des Gewölbes.

Dergleichen niedergeschlagene Figuren dienen theils zur bequemern Flächenbestimmung derselben, theils auch zur Anfertigung der Schablonen.

§. 127.

Wir kommen zum Zeichnen der Steine des Klostergewölbes. Die Fig. 316, welche den Stein der untersten Schicht vorstellt, dessen erste Projection mit a' bezeichnet ist, zu erhalten, verzeichne man zuerst das Haupt dieses Steins. Dies geschieht mit Hülfe der Fig. 312. Ist das Haupt verzeichnet, so werden durch sämmtliche Eckpunkte desselben gerade Linien gezogen, welche auf dem Haupte perspectivisch normal stehen, und mit der Länge $P'Q'$ Fig. 311 gleich lang sind. Die Endpunkte dieser parallelen Linien bilden das andere Haupt des Steins, welches dem erstern congruent ist. Der in Fig. 317 dargestellte Stein wird in derselben Weise verzeichnet. Dieser Stein hat zwei verschiedene Häupter, da das eine der kreisförmigen Richtungslinie, das andere aber der elliptischen Richtungslinie entspricht. Das eine Haupt erscheint rein geometrisch, da es parallel mit der Bildfläche der Tafel gedacht ist; das andere Haupt hingegen steht auf der Bildfläche normal, und erscheint deshalb in perspectivischer Form.

Man beginne nun das Zeichnen dieses Steins damit, das geometrische Haupt mit Hülfe des geraden Durchschnitts Fig. 313 festzustellen. Sodann ziehe man durch alle Eckpunkte der erhaltenen Figur gerade Linien, welche auf dem Haupte perspectivisch normal stehen, und mache deren Längen mit den beziehlich gleichen inneren und äusseren Fugen des Steins in demjenigen Gewölbtheile, welchem dies Haupt entspricht, gleich gross.

Durch die gefundenen Endpunkte jener parallelen Linien ziehe man andere Parallelen, welche auf jenen perspectivisch normal stehen, trage auf sie die Längen, wie sie der Grundriss vorschreibt, und lege durch die Endpunkte dieser letzteren Parallelen das perspectivische Haupt. Ganz eben so werden die in Figur 318 und Figur 319 verzeichneten Steine erhalten. Der Schlussstein in Fig. 320 und 321 wird mit Hülfe rechtwinkliger

Coordinaten verzeichnet. Es werden nämlich im Grundriss Figur 311 die Projectionen von den inneren und von den äusseren Fugen ermittelt. Die durch diese Projectionen gebildeten zwei Rechtecke trage man sodann perspectivisch auf, construire in jedem Eckpunkte lothrechte Linien und mache dieselben mit den entsprechenden Höhen der Fugen dieses Steins, welche aus dem Durchschnitt Fig. 312 zu entnehmen sind, gleich gross.

Endlich verbinde man die zusammengehörigen Punkte durch gerade oder krumme Linien, je nachdem die Form des Steins es erheischt; dadurch erhält man das perspectivische Bild dieses Steins.

Bearbeitung der Steine.

Jeder Gratstein, mit Ausnahme des Schlusssteins, bildet ein Rechteck, dessen eine Ecke zum Theil herausgeschnitten ist. Es wird daher am zweckmässigsten sein, jeden von diesen Steinen aus dem Vollen zu bearbeiten, indem ein Parallelepipedum bearbeitet wird, dessen Abmessungen den grössten Abmessungen des Steins entsprechen, und dessen Grundfläche jenem Rechteck gleich kommt. Ist dies Parallelepipedum dargestellt, so werden die beiden Stirnschablonen und die Schablone des untern Lagers aufgelegt, und nach diesen der Stein bearbeitet.

Zur Bearbeitung der Steine, welche nicht vom Grat eingenommen werden, bedarf es nur einer Stirnschablone.

§. 128.

In den Fig. 322 und 323 Taf. XXIV sind die Projectionen eines Klostergewölbes mit achteckigem Grundriss dargestellt. Fig. 323 zeigt den Grundriss mit den ersten Projectionen der Stoss- und Lagerfugen, und Fig. 322 den lothrechten Durchschnitt nach der Linie $R' S'$ des Grundrisses.

In Fig. 324 ist einer der Anfängersteine verzeichnet, dessen erste Projection in Fig. 323 mit V' bezeichnet ist.

Figur 325 zeigt das perspectivische Bild eines Steins Z, welcher die Stelle über dem Anfänger einnimmt; und Fig. 326 stellt den Schlussstein vor, welcher die Form einer abgekürzten achteckigen Pyramide hat. In Fig. 327 ist noch der Anfänger dargestellt, welcher die eine Ecke des achteckigen Raumes ein-

nimmt, und dessen erste Projection die Figur $a_2' b_2' c_2' d_2' e_2' n_2'$ Fig. 323 ist.

Dieser Stein wird mit Hülfe rechtwinkliger Coordinaten construirt, die Linie $f_2' k_2'$ als Abscissenachse angenommen.

Alle die Steine dieses Gewölbes, welche nicht Gratsteine sind, werden vermittelst der Stirnschablone bearbeitet; die Gratsteine hingegen werden entweder aus dem Vollen gearbeitet, oder sie werden vermittelst Winkel und Schmiege dargestellt. In diesem letztern Falle werden die inneren Wölbungsflächen, welche in der Gratlinie sich schneiden, zunächst als Ebenen dargestellt. Hierzu bedarf es des Neigungswinkels, welchen die beiden sich schneidenden Ebenen mit einander bilden, so wie auch noch der Schablonen dieser Ebenen. Um für den Anfänger, dessen erste Projection F' ist, den Neigungswinkel zu erhalten, ziehe man durch einen beliebig angenommenen Punkt x' in der Projection der Gratlinie die gerade Linie $y' r'$ normal auf der ersten Projection $a' u'$ der Gratlinie $a\,u$, und fälle aus x' eine Normale $x' x_2'$ auf die in dem niedergeschlagenen elliptischen Gratbogen construirte Sehne u' (x), welche dem Gratbogen des Anfängers entspricht. Sodann mache man $x' z' = x' x_2'$, und ziehe die geraden Linien $z' r'$ und $z' y'$, so schliessen diese den gesuchten Winkel ein. Die Richtigkeit der Construction folgt leicht; denn die geraden Linien $u' y'$ und $u' r'$ sind die ersten Schnitte der in der Gratlinie sich schneidenden Ebenen, und $u' a'$, die erste Projection der Gratlinie, stellt die Projection der Durchschnittslinie derselben vor. Der Neigungswinkel zweier sich schneidenden Ebenen wird aber erhalten, wenn man in einem beliebigen Punkte der Durchschnittslinie zwei Linien normal auf derselben construirt, und zwar in der Art, dass die eine in der ersten Ebene, die andere Normale aber in der zweiten Ebene sich befindet; der Winkel, den diese Normalen mit einander bilden, ist der Neigungswinkel der sich schneidenden Ebenen.

Die Ebene des Neigungswinkels steht sonach normal auf der Durchschnittslinie der sich schneidenden Ebenen, daher muss auch der erste Schnitt $r' y'$ der Winkelebene auf der Projection $u' a'$ der Durchschnittslinie normal stehen.

Die Sehne u' (x) stellt die niedergeschlagene Durchschnitts-

linie vor, und die aus dem Punkte x' normal auf a' (x) construirte Linie $x' x_2'$ die Höhe des Dreiecks, welches $r' y'$ zur Grundlinie hat, und dessen beide andere Seiten den verlangten Neigungswinkel einschliessen. Wenn man daher $x' z'$ gleich $x' x_2'$ macht, und die geraden Linien $z' r'$ und $z' y'$ construirt, so ist die Figur $r' y' z'$ das niedergeschlagene Dreieck, welches an der Spitze z' den verlangten Neigungswinkel enthält

In Fig. 328 sind die Schablonen der gedachten Ebenen der innern Seite der Gratsteine durch die Figuren *A*, *B*, C, und *F* dargestellt. Die Figur *A* wird aus ihrer ersten Projection *A* in Fig. 323 auf folgende Art erhalten:

In dem niedergeschlagenen Gratbogen Fig. 323 ziehe man die Sehne (*a*) (*d*); diese stellt die wirkliche Grösse der Linie vor, deren erste Projection $a' d'$ ist.

Die Längen $a f$, $d e$, $a b$ und $d c$ Fig 328 sind ihren ersten Projectionen $a' f'$, $d' e'$, $a' b'$ und $d' c'$ beziehlich gleich, und können aus dem Grundriss entnommen werden. Wenn nun noch die Länge der Diagonale $a c$ oder $a e$ bekannt wäre, so liesse die Figur *A* sich verzeichnen.

Die Länge der Diagonale $a c$ bildet aber die Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen eine Cathete gleich $a b = a' b'$, und dessen andere die Sehne $c'' b''$ Fig. 322. ist. Sie wird demnach erhalten, wenn man die Länge $b' h'$ der Sehne $c'' b''$ Fig. 322 gleich macht, und die Hypotenuse $a' h'$ denkt, so ist diese die gesuchte Länge der Diagonale $a c$. Das Dreieck $a c d$ ist nun aus seinen drei Seiten auf geometrischem Wege zu construiren. Das andere Dreieck $a b c$ ist nun auch bekannt, da die Länge der Linie $b c$ ihrer zweiten Projection, nämlich der Länge der Sehne $c'' b''$, gleich ist. Das Viereck $a f e d$ ist dem Viereck $a b c d$ congruent, es lässt sich deshalb auch verzeichnen, und damit wäre die Schablone *A* des Gratsteins, welcher neben dem Schlussstein sich befindet, bestimmt. Ganz eben so werden die Schablonen *B*, C und *F* der übrigen Gratsteine gefunden.

Der Gratstein zur Seite des Schlusssteins wird nun in folgender Weise bearbeitet.

An einem passenden Stein wird eine Ebene bearbeitet, welche ungefähr der darzustellenden Ebene $a b c d$ gleich kommt. So-

dann wird eine gerade Seite dieser Ebene, in welche die Linie *a d* zu liegen kommen würde, tracirt, der Neigungswinkel, welcher in der Durchschnittslinie *a d* gebildet wird, an die tracirte Linie und Ebene angelegt, dadurch wird die Lage der zweiten Ebene *a f e d* bestimmt.

Nachdem auch diese Ebene glatt bearbeitet ist, werden die beiden Theile der Schablone *A* auf die bearbeiteten Ebenen gelegt, und die Richtungen der Stoss- und Lagerfugen vorgeschrieben. Die beiden Häupter des Steins werden sodann normal auf den dargestellten Ebenen, durch die festgesetzten Stossfugen gehend, bearbeitet, die Stirnschablone aufgelegt, und deren Umriss auf den Stein gezeichnet. Nachdem dies geschehen ist, können alle Begränzungen des Steins, so wie auch die innere Wölbungsfläche, leicht bearbeitet werden.

Eben so werden die übrigen Gratsteine bearbeitet.

§. 129.

In den Figuren 329 und 330 sind die Projectionen eines Klostergewölbes dargestellt, dessen Grundriss eine längliche Form hat. Fig. 330 stellt den Grundriss dieses Gewölbes zur Hälfte vor, Fig. 329 den lothrechten Querdurchschnitt nach der Linie *A′ B′* des Grundrisses, und Figur 331 den lothrechten Längendurchschnitt nach der Linie C′ D′. Der mittlere Theil dieses Gewölbes ist ein Tonnengewölbe; und nur in den beiden Enden des länglichen Raumes tritt die Form des Klostergewölbes hervor.

In Fig. 332 sind die Schablonen G, H, I, K von den inneren Flächen derjenigen Gratsteine ausgetragen, deren ersten Projectionen in Fig. 330 mit G′, H′, I′, K′ bezeichnet worden sind, diese Flächen als Ebenen gedacht. Die Figur G stellt die Schablone des Steins vor, dessen erste Projection in Fig. 330 mit *m′ n′ d′ α′ p′ e′* bezeichnet ist; H bezeichnet die Schablone des nächsten Gratsteins, I die des dritten, und endlich K die des Anfängers.

Die Figur G wird erhalten, wenn man *e p* gleich *e′ p′* Figur 330 macht, *p α* gleich der Sehne *p″ α″* Figur 329, und den Winkel *e p α* gleich 90 Grad. Wenn man ferner *α d* parallel *p e* zieht, diese Linie mit *d′ α′* gleich lang macht, und die Punkte

e und d durch eine gerade Linie verbindet. Wenn man endlich noch die Linien $e\,m$ und $d\,n$ in normaler Richtung auf $p\,e$ und $\alpha\,d$ construirt, $e\,m$ gleich $e'\,m'$, $d\,n$ gleich $d'\,n'$ macht und die gerade Linie $m\,n$ zieht: so ist damit die verlangte Figur construirt.

Der Winkel $e\,p\,\alpha$ ist ein Rechter; denn wenn man das Dreieck $\alpha'\,p'\,p$ im Raume denkt, so steht die Linie $e'\,p'$ normal auf der Ebene dieses Dreiecks. Die Linie $e\,p$ ist aber parallel mit ihrer Projection $e'\,p'$, und muss daher auch auf jener Dreiecksebene normal stehen, d h. sie bildet mit jeder Linie in jener Ebene einen rechten Winkel; daher ist auch der Winkel $e\,p\,\alpha$ ein Rechter.

Zur Bearbeitung des Gratsteins, dessen erste Projection die Figur $n'\,m'\,e'\,p'\,\alpha'\,d'$ ist, bedarf man noch des Neigungswinkels, welchen die beiden Ebenen $e\,p\,\alpha\,d$ und $e\,m\,n\,d$ in ihrer Durchschnittslinie $e\,d$ mit einander bilden. Diesen Winkel zu erhalten, schlage man die Gratlinie $a\,f$, um ihre erste Projection gedreht, in die erste Projectionsebene herab. Zu dem Ende errichte man in den Punkten b', c', d', e' und f' Normalen auf $a'\,f'$, und mache dieselben beziehlich gleich gross mit den Gewölbehöhen, welche jenen Punkten entsprechen, und die aus Fig. 329 entnommen werden können. Dadurch werden die Punkte (b), (c), (d), (e) und (f) erhalten. Durch diese Punkte und durch den Punkt a' lege man die elliptische Linie $a'\,(f)$, und ziehe die Sehnen $a'\,(b)$, $(b)\,(c)$, $(c)\,(d)$ und $(d)\,(e)$; die elliptische Linie $a'\,(f)$ stellt die niedergeschlagene Gratlinie vor.

Um nun den in Rede stehenden Neigungswinkel zu erhalten, ziehe man durch einen beliebigen Punkt g' der Linie $d'\,e'$ die Linie $k'\,l'$ normal auf $d'\,e'$, construire die Linie $d'\,h'$ parallel mit $(d)\,(e)$, und ziehe $g'\,i'$ normal auf $d'\,h'$. Endlich mache man $g'\,u'$ gleich $g'\,i'$ und ziehe die Linien $k'\,u'$ und $l'\,u'$; der Winkel $l'\,u'\,k'$ ist dann der verlangte Neigungswinkel. Auf demselben Wege erhält man die Figuren H, I, K, so wie auch ihre zugehörigen Neigungswinkel.

In Fig. 333 haben wir noch den Schlussstein, dessen erste Projection in Fig. 330 mit L' bezeichnet ist, in der schiefen Projection gezeichnet, dargestellt.

§. 130.

In den Figuren 334 und 335 haben wir die Projectionen eines Klostergewölbes dargestellt, welches in der Mitte einen Plafond oder Spiegel hat, und deshalb auch Spiegelgewölbe genannt wird.

Figur 335 zeigt den Grundriss mit den Projectionen der Stoss und Lagerfugen zur Hälfte, und Fig. 334 den lothrechten Querschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses.

Die Grösse des Spiegels haben wir in diesem Beispiele dadurch bestimmt, dass wir die lichte Weite $c''\,d''$ des Gewölbes in drei gleiche Theile $d''\,a^0$, $a^0\,b^0$ und $b^0\,c''$ theilten, in den Punkten a^0 und b^0 Normalen $a^0\,a''$ und $b^0\,b''$ errichteten, und mit der Länge $a^0\,d''$ die Kreisbogen $d''\,a''$ und $b''\,c''$ aus den Punkten a^0 und b^0 beschrieben. Die Bogen $d''\,a''$ und $b''\,c''$ stellen dann die Durchschnittslinie der innern gekrümmten Wölbungsfläche vor; die gerade Linie $a''\,b''$ aber die Durchschnittslinie des horizontalen Spiegels.

Die gekrümmte Wölbungsfläche läuft in gleicher Breite an den Widerlagsmauern rings herum, und bildet dadurch die 4 Gratbogen in den Ecken. Die Projectionen der Lagerfugen in Fig. 334 schneiden sich nicht in einem Punkte, sondern in drei verschiedenen Punkten. Die Fugen in den gekrümmten Gewölbtheilen schneiden sich hinreichend verlängert gedacht, in den Punkten a^0 und b^0; die Lagerfugen des Spiegels aber haben ihren Brennpunkt in der Mittellinie des Gewölbes. Die Entfernung dieses Punktes von der Linie $a''\,b''$ wird so festgesetzt, dass die Fugen im Spiegel nicht zu schräg, aber auch nicht zu steil zu liegen kommen.

In Figur 336 haben wir noch die Schablonen der inneren Flächen derjenigen Gratsteine ausgetragen, deren ersten Projectionen in Fig. 335 mit L', M', N', O' und P' bezeichnet worden sind, diese Flächen als Ebenen gedacht.

§. 131.

Figur 339 ist der Grundriss eines Klostergewölbes mit doppelten Graten und mit einem Spiegelgewölbe in der Mitte, gegen welches die Grate anlaufen. Fig. 338 ist der verticale Durch-

schnitt dieses Gewölbes, denselben nach der Linie A' B' des Grundrisses gedacht. Die aus den vier Ecken hervorgehenden doppelten Grate bilden ein Sterngewölbe, welches in seiner Mitte eben, in allen übrigen Theilen aber cylindrisch ist. Das reguläre Achteck, dessen erste Projection die Figur $b' c' d' e' f' g' h' i'$ ist, trennt die ebene Gewölbfläche von der cylindrischen; und die gerade Linie $i' b'$ ist die Achse desjenigen cylindrischen Gewölbes, dessen erste Projection die Figur $o' b' i' s'$ ist; weil sämmtliche centrale Lagerfugen dieses Gewölbtheils in der Linie $i' b'$ sich schneiden müssen, da der Mittelpunkt der Richtungslinie $t'' a''$ Fig. 338 dieses Gewölbtheils in dem Punkte a^0 sich befindet, und die Länge $a^0 t''$ mit $b' \beta'$ Figur 339 gleich gross ist. Eben so gilt die gerade Linie $b' c'$ Fig. 339 als Achse desjenigen cylindrischen Gewölbes, welches zwischen den Gratlinien $o b$ und $o c$ sich befindet; ferner $c' d'$ als Achse des zwischen $o c$ und $p d$ befindlichen cylindrischen Gewölbes, u. s. f.

Die Figur 340 zeigt den untersten Gratstein, welcher die Ecke einnimmt und als Anfänger gilt. Die obere Lagerfuge dieses Steins ist horizontal angenommen, und die dadurch hervorgehende spitze Kante in der Wölbungsfläche nach der Richtung des Radius abgeschnitten worden. Um diesen Stein zu zeichnen, construire man zunächst das untere Lager desselben in der Methode der schiefen Projection. Sodann construire man die beiden Häupter des Steins, und zwar das vordere in geometrischer Form, congruent der Stirnfläche dieses Steins, welche die Figur 338 darbietet; und das andere Haupt in der Methode der schiefen Projection, indem man den Bogen $y \alpha$ aus seinen Coordinaten bestimmt. Nachdem die beiden Häupter construirt worden sind, ist es leicht den Stein vollends zu construiren.

Die Figur 341 stellt den zweiten Gratstein von unten vor. Man construirt diesen Stein wie den vorigen Stein aus den beiden Häuptern.

Figur 342 zeigt den dritten Gratstein. Auch dieser Stein wird vermittelst seiner beiden Häupter construirt.

§. 132.

Zum Schluss dieses Kapitels haben wir noch in Figur 345

den Grundriss eines kreisrunden Gewölbes gegeben, dessen verticaler Querschnitt nach der Linie A′ B′ genommen, entweder Fig. 343, oder Fig. 344 vorstellt. Im erstern Falle ist das Gewölbe ein horizontales Gewölbe; im zweiten aber ein kegelförmiges Gewölbe mit verticaler Achse.

Die Fig. 346 zeigt den Stein *P*, dessen zweite Projection in Fig. 344 mit *P″* bezeichnet ist.

Fig. 348 stellt den Grundriss und Fig. 347 den verticalen Querschnitt desselben Gewölbes für den Fall vor, wenn dies Gewölbe oben eine Lichtöffnung erhält.

Siebentes Kapitel.

Von den Kreuzgewölben.

§. 133.

Durchschneiden sich zwei Tonnengewölbe von gleichen Höhen, und denkt man die Stücke derselben hinweggenommen, für welche die Umfassungsmauern Widerlager sein würden, so bilden die anderen Theile, welche sich mit den Kopf- oder Stirnenden an die Seitenwände anschliessen, das Kreuzgewölbe. Widerlager dieses Gewölbes sind die vier Ecken des überwölbten Raumes; alle Seitenwände aber sind Stirnmauern. Dieses Gewölbe hat sonach keine geradlinigt fortlaufende Kämpferlinie.

Diejenigen elliptischen Linien, in denen die Tonnengewölbe sich schneiden, werden Grate genannt; diese Grate springen beim Kreuzgewölbe stets nach innen, und bilden eine scharfe spitze Kante. Das Princip, welches ihre Form festsetzt, ist daher demjenigen entgegengesetzt, nach welchem die Form des Grates beim Klostergewölbe gebildet wird.

Die vier Kämpferpunkte, in welchen das Gewölbe beginnt, befinden sich in der Regel in einer horizontalen Ebene. Es kommen aber auch Fälle vor, wo diese vier Punkte in einer gegen den Horizont geneigten Ebene sich befinden, wie z. B. bei Unterbauungen oder Ueberbauungen der Treppen. Ein solches Kreuzgewölbe wird steigendes Kreuzgewölbe genannt.

Die Stärke der Widerlager des Kreuzgewölbes ist ungefähr $\frac{1}{6}$ der lichten Weite, wenn der zu überwölbende Raum von vollen Mauern eingeschlossen wird. Ruht hingegen das Gewölbe nur auf vier Pfeilern, so muss deren Stärke $\frac{2}{5}$ bis $\frac{1}{3}$ der lichten Weite betragen.

Die Stärke des Gewölbes im Scheitel ist durchschnittlich $\frac{1}{25}$ von der lichten Weite desselben.

§. 134.

In den Figuren 349,350 und 351 Taf. XXVI. sind die Projectionen eines Kreuzgewölbes dargestellt, welches von zweien unter rechten Winkeln sich kreuzenden Tonnengewölben von gleicher Bogenhöhe, aber verschiedenen lichten Weiten, gebildet wird.

Die Figur 349 zeigt die Ansicht vom kleinern Bogen, Figur 350 den Grundriss und Fig. 351 die Ansicht vom grössern Bogen.

Der Construction des Kreuzgewölbes ist der Bogen des kleinern Gewölbes, welcher nach dem vollen Zirkel gebildet ist, zum Grunde gelegt. Der grössere Bogen muss in den beziehlich gleichen Punkten einerlei Höhe mit dem kleinern Bogen haben, und ist sonach eine Ellipse.

Den Reissplan dieses Gewölbes zu construiren, setze man zunächst die Lage der beiden Pfeiler $A'B'C'D'$ und $a'h'q'p'$ Fig. 350 fest. Sodann beschreibe man mit der Linie $a'f'$, der halben lichten Weite des kleinern Gewölbes, den Kreisbogen $a''f''$ Fig. 349, theile diesen nach der Anzahl der Gewölbsteine, welche er enthalten soll, in eine Anzahl gleicher Theile, wodurch die Punkte a'', b'', c'', d'', e'', f'', erhalten werden. Durch diese Punkte und durch den Mittelpunkt f^0 ziehe man die geraden Linien $f''o''$, $e''l''$, $d''m''$, $c''n''$, $b''\alpha''$; construire den Rücken $o''n''$, so wie die Hintermauerung des Gewölbes: hierdurch wird der Fugenschnitt des kleinern Gewölbes festgesetzt. Nachdem dies geschehen ist, projicire man die Punkte a'', b'', c'', d'', e'', f'' auf die Linie $a'f'$, so erhält man in den Punkten a', b', c', d', e', f', die ersten Projectionen jener Punkte.

Die Linien $f'k'$ und $v'\gamma'$ sind die ersten Projectionen der Achsen beider Gewölbe; und verbindet man die Punkte p', v', so wie D', v' durch gerade Linien, so stellen diese die erste Projection der beiden Gratbogen vor.

Wenn man ferner aus den Punkten b', c', d' und e' Parallelen mit der Achse $f'v'$ zieht, und dieselben bis an die Linie $p'v'$ verlängert, so sind diese Linien die ersten Projectionen der inneren horizontalen Leibungsfugen im kleineren Gewölbe. Und zieht man noch aus den erhaltenen Punkten r', s', t' und u' die Linien $r'\varrho'$, $s'\pi'$, $t'\varphi'$ und $u'\delta'$ parallel mit $v'\gamma'$, der ersten Pro-

jection der Achse des grössern Gewölbes, so sind diese Linien die ersten Projectionen der horizontalen Leibungsfugen im grössern Tonnengewölbe.

In eben der Art werden diese Fugen in den übrigen Quadranten des Kreuzgewölbes festgesetzt. Die übrigen Fugen, welche auf den horizontalen Fugen normal stehen, und die ersten Projectionen der Stossfugen vorstellen, werden zwar beliebig angeordnet. Es muss jedoch deren Anordnung theils nach der Grösse der Steine, welche zum Gewölbe verwendet werden können, theils nach dem zweckmässig guten Verbande, welcher erzielt wird, gehörig abgewogen werden.

Hiermit würde die erste Projection oder der Grundriss des Gewölbes festgesetzt sein.

Die Fig. 351 zu erhalten, projicire man etwa den Punkt φ' nach φ^2, ziehe $\varphi^2\,\varphi'''$ normal auf $h^2\,B^2$, und mache die Länge dieser Linie gleich $d^0\,d''$ Fig. 349. Eben so werden die Punkte q''', ϱ''', π''', δ''' und γ''' bestimmt, durch welche sich dann der elliptische Bogen $q'''\,\gamma'''$ legen lässt. Die Fugen dieses Bogens schneiden sich nicht in dem Mittelpunkte γ^2, da sie in die Richtung der Kurvennormale für denjenigen Punkt, von wo aus sie gehen, fallen müssen.

Hiernach wird die Fuge $\varphi'''\,b_2'''$ erhalten, wenn man die Brennpunkte b^2 und q^2 in der Linie $h^2\,B^2$ bestimmt, indem man aus dem Punkte γ''' als Mittelpunkt, mit der Länge $C^2\,\gamma^2$ als Radius, die Linie $h^2\,B^2$ in den Punkten b^2 und q^2 schneidet. Ist dies geschehen, so ziehe man die zusammengehörigen Brennstrahlen $\varphi'''\,b^2$ und $\varphi'''\,q^2$, halbire den Winkel, welchen diese in φ''' mit einander bilden: die so erhaltene Linie ist die Richtung der Normale für den Punkt φ''', und ihre Verlängerung $\varphi'''\,b_2'''$ ist die Fuge für den Punkt φ'''.

Der äussere Punkt b_2''' wird in der Art festgesetzt, dass die Normale $b^2\,b_2'''$ gleich $m^0\,m''$ Fig. 349 werde. Diese Bedingung ist durchaus nothwendig, damit alle homologen Punkte der beiden Tonnen in einerlei Horizontalebenen zu liegen kommen. — Man projicire nun den Punkt b_2''' nach b_2', den Punkt m'' nach m', und ziehe aus b_2' und m' gerade Linien $b_2'\,b_3'$ und $m'\,b_3'$ beziehlich parallel mit den Achsen der Tonnengewölbe: diese Linien

stellen die erste Projection der äussern horizontalen Fuge vor, welche durch die Punkte m'' und b_2''' geht. Auf demselben Wege werden die Linien $n'\ d_3'$ und $d_3'\ \varrho'$, so wie $l'\ a_3'$ und $a_3'\ a_2'$, die ersten Projectionen der übrigen äusseren horizontalen Fugen, erhalten.

Dieser Anordnung zu Folge wird der einspringende Grat der äussern Gewölbfläche mit dem ausspringenden Grat der innern Fläche nicht in einerlei lothrechten Ebene zu liegen kommen, welches aber auch keinen Nachtheil weiter verursacht.

Figur 353 stellt die Austragung der innern Wölbungsfläche mit den zugehörigen Lagerfugen von der einen Hälfte des kleinern Tonnengewölbes vor.

Die Figur wird erhalten, wenn man die gerade Linie $(a)\ (f)$ mit dem Kreisbogen $a''\ f''$ Fig. 349 gleich lang macht, und sie eben so eintheilt, wie jener Bogen durch die Punkte b'', c'', d'', e'' getheilt wird. Hierdurch erhält man die Punkte (b), (c), (d) und (e). Aus diesen Punkten ziehe man Linien normal auf $(a)\ (f)$, und mache sie mit den in Fig. 350 verzeichneten ersten Projectionen der inneren horizontalen Fugen beziehlich gleich lang, nämlich $(f)\ (v) = f'\ v'$, $(e)\ (u) = e'\ u'$, $(d)\ (t) = d'\ t'$, $(c)\ (s) = c'\ s'$, $(b)\ (r) = b'\ r'$ und $(a)\ (p) = a'\ p'$, verbinde die Punkte (v), (u), (t), (s), (r) und (p) durch eine stetige krumme Linie, so stellt $(a)\ (f)\ (v)\ (p)$ die Wölbungsfläche von der einen Hälfte des kleinern Tonnengewölbes vor, dieselbe in eine Ebene ausgebreitet.

Die Grösse der Lagerfugen zu erhalten, mache man $(e)\ (l) = e''\ l''$ Fig. 349, $(d)\ (m) = d''\ m''$, $(c)\ (n) = c''\ n''$, $(b)\ (\alpha) = b''\ \alpha''$ und ziehe aus den Punkten (l), (m), (n) und (α) Parallelen mit der Linie $(f)\ (v)$; mache ferner $(l)\ (a_3) = l'\ a_3'$, $(m)\ (b_3) = m'\ b_3'$, $(n)\ (\alpha_3) = n'\ d_3'$, und verbinde die erhaltenen Punkte durch gerade Linien: so stellen die Trapeze $(e)\ (l)\ (a_3)\ (u)$, $(d)\ (m)\ (b_3)\ (t)$ u. s. w. die Grösse der Lagerfugen in diesem Theile des Gewölbes vor.

§. 135.

Zeichnen der Gewölbsteine des Kreuzgewölbes.

Fig. 354 zeigt den Anfänger des Kreuzgewölbes in der schiefen Projection gezeichnet; Fig. 355 den zweiten Stein von unten, und Fig. 357 den Gratstein zur Seite des Schlusssteins, dessen erste Projection die Figur $u' n_2' n_4' b_3' n_5' n_7'$ ist.

Den Anfänger Fig. 354 zu zeichnen, construire man zunächst die beiden geraden Häupter $a b \alpha i h$ und $h i V \varrho q$. Das erstere wird rein geometrisch mit Hülfe des Mittelpunktes f nach Figur 349 verzeichnet; das zweite aber muss perspectivisch dargestellt werden.

Zu dem Ende verzeichne man das untere Lager $a p q h$, indem man die Linie $a p$ perspectivisch normal auf $a h$ zieht (unter einer Neigung von 45 Grad gegen $a h$), die Länge $a p = a' p'$ Fig. 350 macht, die Linie $p q$ parallel mit $a h$ zieht, und die Linie $h q$ parallel mit $a p$: so ist das untere Lager des Steins in der Figur $a h p q$ perspectivisch dargestellt.

Aus den Punkten b, α und i ziehe man nun die geraden Linien $b r$, αL und $i V$ parallel mit $a p$, und mache sie mit den in Fig. 350 dargestellten ersten Projectionen gleich lang. Verbinde sodann die Punkte L und V durch eine gerade Linie $L V$, und ziehe $r \varrho$ parallel $a h$. Endlich mache man noch $r \varrho = r' \varrho'$, und ziehe die Bogen $p r$ und $q \varrho$, so ist der Stein perspectivisch dargestellt. In eben der Art wird der in Fig. 355 gezeichnete Stein dargestellt.

Der in Figur 357 gezeichnete Gratstein ist in einer andern Methode construirt worden. Wir haben nämlich ein Parallelepipedum gedacht, welches diesen Stein umhüllt, und die Form hat, welche Fig. 356 zeigt. Man erhält dasselbe, wenn man in Figur 249 das Rechteck $5''.6''.7''.8''$, in Fig. 351 das Rechteck $L''' Q''' P''' N'''$ construirt, und in Fig. 350 die Stossfugen $n_2' n_4'$ und $n_7' n_5'$ so weit verlängert, bis sie sich schneiden. Die im Grundriss erhaltene Figur stellt dann die Grundebene vor, und die Linie $5''.6''$ oder auch $L''' N'''$ die Höhe des in Rede stehenden Parallelepipedums. Mit diesen Abmessungen construire man nun das in Fig. 356 dargestellte Parallelepipedum.

Um aber den Stein selbst zu verzeichnen, trage man die Abmessungen des Steins auf die Kanten des construirten Parallelepipedums, indem man in Fig. 357 die Länge $L\,n_2 = L'''\,\delta'''$ macht, $L\,n_3 = L'''\,\varphi'''$, $N\,m_2 = N'''\,a_2'''$, $P\,n_4 = P\,b_2'''$, und die Figur $n_2\,n_3\,n_4\,m_2$ construirt; diese Figur stellt die Stirnfläche dieses Steins im grössern Tonnengewölbe vor. Ferner mache man die Länge $8\,.\,n_7 = 8''\,.\,e''$, $8\,.\,n_6 = 8''\,.\,d''$, $7\,.\,l = 7''\,l''$, und $6\,.\,n_5 = 6''\,.\,m''$, ziehe aus den Punkten n_2, n_3 und n_4 gerade Linien parallel mit $L\,Z$, und aus den Punkten n_7, n_6 und n_5 Parallelen mit $8\,.\,Z$, ermittele deren Durchschnittspunkte u, t und b_3, und construire die Bogen $n_6\,n_7$, $l\,n_5$ und $t\,u$: so ist hiermit die Form dieses Steins perspectivisch vollendet, denselben umgekehrt niedergelegt gedacht.

Wollte man den folgenden Gratstein zeichnen, so construire man ein Rechteck, welches durch die Punkte c'', d'', m'', n'' Fig. 349 geht, und dessen Grundlinie parallel mit $h''\,f^0$ ist. Ein zweites Rechteck lege man durch die Punkte b_2''', d_2''', π''' und φ''' Fig. 351 in der Art, dass dessen Grundlinie parallel $h^2\,B^2$ ist, und construire ein Parallelepipedum, welches die Figur $t'\,o_3'\,o_2'\,d_2'\,o_3'\,o_4'$ Figur 350 zur Grundebene und die Höhe jener Rechtecke zur Höhe hat. Nachdem dies Parallelepipedum construirt ist, verfahre man wie beim vorigen Gratstein. Auf demselben Wege erhält man die Figur des Schlusssteins.

§. 136.

Bearbeitung der Steine des Kreuzgewölbes.

Es ist bereits früher von uns bemerkt worden, dass die Bearbeitung der Steine nach zweierlei Methoden geschehen kann, nämlich: Bearbeitung aus dem Vollen, auch Abvierung genannt, und Bearbeitung mittelst Schablone und Winkelschmiege.

Um den in Fig. 357 dargestellten Stein durch Abvierung zu bearbeiten, wird zunächst der in Figur 356 dargestellte Körper vollendet. Ist dies geschehen, so werden auf den ebenen Flächen $5\,.\,6\,.\,7\,.\,8$ und $P\,Q\,L\,N$ die beiden Häupter entweder mittelst Stichmass, oder auch vermittelst Schablone aufgezeichnet, und hiernach wird der Stein so bearbeitet, wie ihn die Fig. 357 darstellt.

Obgleich diese Methode die richtigste ist, wird doch in den meisten Fällen die zweite Methode, nämlich Bearbeitung nach Schablone und Winkelschmiege, angewendet. Nach dieser Methode wird der Stein zunächst so dargestellt, als wären die krummen Flächen $t\,u\,n_2\,n_3$ und $t\,u\,n_7\,n_6$ Fig. 357 zwei Ebenen, deren Durchschnittslinie die Linie $t\,u$ vorstellt. Diese Ebenen bilden in der Linie $t\,u$ einen Neigungswinkel, welcher mittelst Schmiege auf den darzustellenden Stein getragen werden muss. Wie dieser Winkel erhalten wird, lehrt uns die Projectionslehre auf verschiedene Weise. Der einfachste Weg möchte folgender sein:

Man construire die Durchschnittslinie $p'\,(v)$ Fig. 350 der beiden Wölbungsflächen, und denke die erste Projectionsebene horizontal durch den Punkt u gelegt, so sind die Linien $u'\,n_7'$ und $u'\,n_2'$ die Schnitte jener Ebenen in der ersten Projectionsebene, und die Linie $u'\,t'$ stellt die erste Projection der Durchschnittslinie jener beiden Ebenen vor.

Durch einen beliebig angenommenen Punkt w dieser Durchschnittslinie denke man eine Ebene E normal auf der Durchschnittslinie: die Linien $w\,z$ und $w\,y$, in denen die Ebene E jene zwei Ebenen schneidet, bilden den gesuchten Neigungswinkel. Man ziehe nun die Linie $(u)\,(K)$ Fig. 350 parallel mit $v'\,p'$, die Linie $y'\,z'$ normal auf $v'\,p'$, und verlängere sie bis zum Durchschnitt (w) in der Linie $(u)\,(K)$. Ferner fälle man aus dem Punkte (w) eine Normale $(w)\,(x)$ auf die Sehne $(u)\,(t)$, so stellt diese Normale die Höhe des Dreiecks $z\,y\,w$ für die Grundlinie $z\,y$ vor. Wenn daher $w'\,\beta' = (w)\,(x)$ gemacht, und die Linien $z'\,\beta'$, $y'\,\beta'$ gezogen werden, so ist der Winkel $y'\,\beta'\,z'$ der gesuchte Winkel.

Dieser Winkel wird vermittelst der Schmiege abgenommen, und in einer Kante eines Steins, welcher ungefähr den Dimensionen des darzustellenden Steins entspricht, angelegt. Nach den Schenkeln dieses Winkels werden sodann beide Ebenen bearbeitet. Ist dies geschehen, so werden die Schablonen jener zwei Ebenen, welche in der Linie $u\,t$ sich schneiden, aufgelegt, und die Figuren $u\,n_2\,n_3\,t$ und $u\,n_7\,n_6\,t$ mittelst Blutstein angegeben, worauf nun die Bearbeitung der durch die Linien $n_2\,n_3$ und $n_6\,n_7$ gehenden Häupter vermittelst Schablone ausgeführt werden kann.

Die Schablonen der Häupter sind aus Fig. 349 und Fig. 351 leicht zu entnehmen; die Schablonen der Ebenen $u\,t\,n_3\,n_2$ und $u\,t\,n_7\,n_6$ müssen aber erst ausgetragen werden. Zu dem Ende ziehe man die Diagonale $t'\,n_2'$ Fig. 350 und ermittele deren wirkliche Länge; dies geschieht, wenn man die Länge der Linie $u'\,t'$ auf die Linie $L'''\,Q'''$ Fig 351 von dem Punkte L''' aus abträgt, und den erhaltenen Punkt mit dem Punkte δ''' durch eine gerade Linie verbindet, diese Linie ist mit der Geraden $n_2\,t$ gleich lang; denn die gerade Linie $n_2\,t$ ist Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Catheten die Längen $n_2'\,t'$ Fig. 350 und $L'''\,\delta'''$ Fig. 351 sind.

Das Viereck $t\,u\,n_2\,n_3$ kann nun leicht dargestellt werden, denn die Linien $u'\,n_2'$ und $t'\,n_3'$ sind schon wirkliche Seiten dieses Vierecks, die Länge der Linie $n_2\,n_3$ ist der Sehne $\varphi'''\,\delta'''$ gleich, und die Länge der Linie $u\,t$ ist gleich $(u)\,(t)$. Man kennt sonach die vier Seiten des Vierecks und eine Diagonale, woraus dasselbe leicht dargestellt werden kann. Die wirkliche Grösse des Vierecks $t\,n_6\,n_7\,u$ wird eben so erhalten.

In Figur 352 sind die Schablonen dieser zwei Ebenen dargestellt.

§. 137.

In den Figuren 358, 359 und 360 Taf. XXVI. sind die Projectionen eines Kreuzgewölbes mit doppelten Graten dargestellt.

Die Linien $g'\,i'$ und $f'\,h'$ liegen in einerlei Ebene, und stellen die Achsen beider Tonnengewölbe vor. Die Punkte a', b' und e' sind dadurch erhalten worden, dass $f'\,a'$ gleich $f'\,e'$ gleich $\frac{1}{3}\,f'\,g'$, und $f'\,b'$ gleich $\frac{1}{3}\,f'\,h'$ gemacht worden ist. Die Linien $a'\,b'$ und $b'\,e'$ liegen daher auch in einerlei Ebene, und zwar in der Ebene der Linien $g'\,i'$ und $f'\,h'$; und es ist sonach der obere mittlere Gewölbtheil $a'\,b'\,e'$ horizontal. Die Linien $a'\,c'$, $b'\,c'$, $b'\,d'$ und $e'\,d'$ sind die ersten Projectionen der vier Gratbogen. Eine weitere Beschreibung dieses Gewölbes wird nicht nöthig sein, da alle Constructionen ziemlich dieselben sind, wie bei dem vorigen einfachen Kreuzgewölbe. Wir bemerken nur noch, dass Figur 361 den Anfänger von oben angesehen bezeichnet, und Figur 362 den Stein zur Seite des Schlusssteins, dessen erste Projection die Figur $q'\,r'\,s'\,t'\,u'\,m'\,o'\,p'$ Fig. 359 ist.

Der Schlussstein dieses Kreuzgewölbes hat die Form einer abgekürzten Pyramide.

In Figur 363 haben wir noch ein unregelmässiges Kreuzgewölbe auf dem ungleichseitigen Viereck $A' B' C' D'$ dargestellt. Ueber der kleinern Seite $C' D'$ ist ein Halbkreis beschrieben worden, welcher der Construction des Gewölbes zum Grunde gelegt worden ist; und es sind sonach die drei anderen Bogen Ellipsen, welche mit jenem Halbkreise gleiche Höhe haben.

Der Punkt m', in welchem die Projectionen von den Gratbogen zusammentreffen, ist hier dadurch erhalten worden, dass die Mitten zweier einander gegenüberliegenden Seiten des Vierecks durch die geraden Linien $a' b'$ und $c' d'$ verbunden worden sind, deren Durchschnitt den Punkt m' festsetzt.

Die Projectionen der inneren horizontalen Fugen sind mit den Linien $a' b'$ und $c' d'$ beziehlich parallel; und die Projectionen der Stossfugen haben eine normale Richtung gegen diese Linien.

§. 138.

Auf Taf. XXVII haben wir das Kreuzgewölbe über dem quadraten Raume vollständiger dargestellt, als es in den Figuren auf Taf. XXVI. geschehen ist.

Fig. 364 ist der Grundriss des Gewölbes, dasselbe von unten angesehen; Fig. 365 ist der Durchschnitt nach der Linie $A' B'$, Fig. 366 der Diagonalschnitt, Fig. 367 ein gerader Schnitt nach der Linie $E' F'$, und Figur 368 ein schiefer Schnitt nach der Linie $G' H'$ des Grundrisses.

In Fig. 369 ist noch die innere Wölbungsfläche von einem Quadrant mit den zugehörigen Lagerfugen ausgetragen.

Das Gewölbe ist in der Umfassung mit verstärkten Bogen gedacht worden, wie solches aus Fig. 364 hervorgeht; wobei aber vorausgesetzt worden ist, dass an diese verstärkten Bogen noch andere Constructionstheile sich anschliessen, welche den Schub des Kreuzgewölbes aufnehmen, weil sonst die in der Zeichnung angegebene Stärke der Pfeiler zu gering wäre. Die Construction dieses Gewölbes ist folgende:

Wenn $d' O' T' W'$ Fig. 364 der quadrate Raum ist, welcher mit einem Kreuzgewölbe überspannt werden soll, so ziehe man die Linien $d' T'$ und $O' W'$, welche die ersten Projectionen der bei-

den Grate vorstellen, und construire durch deren Mitte m_4' die beiden Achsen $A'B'$ und $G'Z'$ der sich kreuzenden Tonnengewölbe.

2) Nehme man die Pfeilervorlage $d'a_2'$ und $O'g_2'$ gleich $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{16}$ der lichten Weite des Kreuzgewölbes, halbire die Länge $a_2'g_2'$ in m_2', projicire diesen Punkt auf die Linie $A''B''$ nach m_2^0 Figur 365, und beschreibe aus diesem Punkte mit der Länge $m_2'a_2'$ als Radius den Halbkreis $a_2''b_2''e_2''$.

3) Theile man diesen Halbkreis in eine ungerade Anzahl gleicher Theile, projicire die erhaltenen Punkte auf die Linien $d'O'$ und $W'T'$, und trage sie von hier auf die Linien $d'W'$ und $O'T'$.

4) Setze man nach der Stärke der Pfeiler das äussere Quadrat $C'X'D'Y'$ fest, und construire aus den Theilpunkten in den Seiten des innern Quadrats $d'O'T'W'$ gerade Linien beziehlich parallel mit den Achsen $A'B'$ und $G'Z'$ zwischen den Seiten des äussern und des innern Quadrats; oder wenn b_2' die erste Projection des Punktes b_2'' Fig. 365 ist, so ziehe man die Linie $b_2'c_2'$ parallel mit der Linie $G'Z'$, und wiederhole dies Verfahren bei jedem andern Theilpunkte der Linie $d'O'$: so stellen die erhaltenen Linien die ersten Projectionen der innern Leibungsfugen der Bogen vor, von welchen das Kreuzgewölbe eingeschlossen wird.

5) Beschreibe man aus dem Mittelpunkte m_2^0 Fig. 365 mit der Länge $m_2'd'$ als Radius den Halbkreis $M''p''O''$ Fig. 365, welcher die zweite Projection desjenigen Halbkreises vorstellt, in welchem die Wölbungsfläche des Kreuzgewölbes von der Stirnfläche des verstärkten Bogens geschnitten wird. Dieser Halbkreis kann aber auch als die zweite Projection derjenigen Gratlängen angesehen werden, deren ersten Projectionen die Längen $d'm_4'$ und $O'm_4'$ sind.

6) Wenn der Punkt b_2'' Fig. 365 einer von den Theilpunkten des Halbkreises $a_2''b_2''e_2''$ ist, so ziehe man durch m_2^0 und b_2'' eine gerade Linie $b_2''p''$, construire durch den erhaltenen Punkt p'' die gerade Linie $p''d_2''$ parallel mit $B''A''$, projicire p'' auf die Linie $d'O'$ nach p' Fig. 364, ziehe $p'q'$ parallel mit $G'Z'$ und $q'd_2'$ parallel mit $B'A'$; diese Linien stellen dann die Pro-

jectionen der durch den Punkt p gehenden horizontalen Leibungsfuge des Kreuzgewölbes vor.

Auf demselben Wege erhält man die Projectionen aller übrigen Leibungsfugen.

7) Man ordne nun die Stossfugen so an, dass ein regelrechter Verband hervorgeht, und vollende den Durchschnitt Fig. 365.

Die gebrochene Linie $h_2'' l'' i_2'' i'' l_2'' g'' p_2'' e'' r_2''$ stellt die Abtreppung des äussern Hauptes vom verstärkten Bogen vor, und die Linie $p'' i''$ die Stärke des Kreuzgewölbes.

8) Construire man den Diagonalschnitt Fig. 366.

Zu dem Ende ziehe man die gerade Linie $C''' D'''$ parallel mit $C' D'$ Fig. 364, projicire alle Fugenpunkte des Gewölbtheils $C' X' D'$ in normaler Richtung auf die Linie $C''' D'''$, errichte in den erhaltenen Punkten Normalen auf $C''' D'''$, und mache dieselben mit den entsprechenden Höhen dieser Punkte in Fig. 365 gleich gross. Um z. B. die Fuge $k''' q'''$ zu erhalten, projicire man q' Figur 364 auf die Linie $C''' D'''$ nach q^2, ziehe $q^2 q'''$ normal auf $C''' D'''$, und mache sie mit der Höhe des Punktes p'' Figur 365 über der Linie $A'' B''$ gleich gross. Ferner projicire man den Punkt k' Fig. 364 nach k^2 Fig 366, construire $k^2 k'''$ normal auf $C''' D'''$ und mache diese Linie mit der Höhe des Punktes i'' Fig. 365 gleich gross: die gerade Linie $k'' q''$ stellt alsdann die Fuge für den Punkt q'' vor, deren Richtung nicht auf der innern Wölbungslinie normal steht, sondern durch den Punkt m_4''' geht. Denn diese Fuge ist die Durchschnittslinie der centralen Lagerfugen, welche durch die Linien $p q$ und $q d_2$ gehen; diese Fugen gehen durch die Achsen $G' m_4'$ und $A' m_4'$, ihre Durchschnittslinie geht deshalb durch m_4' und ihre dritte Projection durch den Punkt m_4''', die dritte Projection des Punktes m_4.

Auf demselben Wege erhält man den in Figur 367 dargestellten Durchschnitt nach der Richtung $E' F'$ des Grundrisses, so wie auch den schiefen Schnitt Fig. 368 nach der Linie $G' H'$.

Auf Taf. XXVIII haben wir die wichtigsten Steine dieses Gewölbes mit ihren Schablonen dargestellt.

Figur 370 ist der Anfänger Q, dessen erste Projection in Fig. 364 mit Q' bezeichnet ist; a ist die Schablone der innern Bogenwölbung, b die Schablone des obern horizontalen Lagers,

d die des untern Lagers, *c* die der obern centralen Lagerfuge, *e* die vom äussern Haupte und endlich *f* die vom innern Haupte.

In Fig. 371 ist der zweite Stein *P* dargestellt, dessen erste Projection in Fig. 364 mit *P'* bezeichnet ist; *g* ist die Schablone des äussern Hauptes dieses Steins, und *h* die der obern centralen Lagerfuge.

Fig. 372 zeigt den dritten Stein *R*, dessen erste Projection in Fig. 364 mit *R'* bezeichnet ist; *i* ist die Schablone vom Haupte, *k* die des obern horizontalen Lagers, und *l* die der obern centralen Lagerfuge.

Fig. 373 zeigt den Stein *J* dessen erste Projection in Figur 364 *J'* ist, und Fig. 374 denselben Stein im andern Bogen, woselbst die erste Projection dieses Steins mit *K'* bezeichnet ist; *m* ist die Schablone des äussern Hauptes, *n* die der obern centralen Lagerfuge, und *o* die der Stossfuge im Kreuzgewölbe.

Fig. 375. zeigt den Gratstein *N* dessen erste Projection in Fig. 364 mit $a_3' b_3' e_3' f' g_3' i_3'$ bezeichnet ist. Man construirt diesen Stein aus seinen rechtwinkligen Coordinaten, indem man die Punkte a_3, b_3, c_3, d_3, e_3, f, g_3, h_3, k_3, i_3 und h perspectivisch aufträgt, in denselben lothrechte Linien construirt, und dieselben mit den entsprechenden Höhen dieser Punkte gleich gross macht.

Fig. 376 zeigt den Gratstein *L*, dessen erste Projection in Fig. 364 mit $l_3' p_3' r_3' m' t_3' v_3'$ bezeichnet ist. Man construirt diesen Stein ebenfalls aus seinen rechtwinkligen Coordinaten, indem man die Grenzpunkte l_3 p_3 r_3 m t_3 v_3 u. s. f. dieses Steins perspectivisch aufträgt, in denselben lothrechte Linien construirt, und auf diesen die entsprechenden Höhen, welche aus Fig. 365 entnommen werden, abträgt.

Fig. 376 zeigt diesen Stein von oben, und Fig. 377 denselben Stein von unten angesehen.

Eine andere Construction dieser Gratsteine haben wir schon in Fig. 356 und Fig. 357 gegeben.

In Fig. 378 ist der Stein *V* dargestellt, welcher als Schlussstein des verstärkten Bogens die Verbindung dieses Bogens mit dem Kreuzgewölbe vermittelt. *p* ist die Schablone der Lagerfuge, und *q* die Hauptschablone dieses Steins. Die Figuren 379

und 380 zeigen den Schlussstein des Kreuzgewölbes. Erstere Figur stellt eine Ansicht von unten vor, letztere aber eine Ansicht von oben; *r* ist die Schablone der obern Fläche dieses Steins. Dieser Stein ist hier ebenfalls aus seinen rechtwinkligen Coordinaten construirt worden.

§. 139.

Wir kommen zu dem gerippten Kreuzgewölbe. Dasselbe unterscheidet sich wesentlich von dem einfachen Kreuzgewölbe, dessen Structur wir in den vorangegangenen Paragraphen dieses Kapitels zeigten. Das einfache Kreuzgewölbe gehört seiner Structur nach dem römischen Styl an, und wird daher auch das römische Kreuzgewölbe genannt. Bei demselben sind die Gurte ohne Rippen, und die innere Wölbungsfläche ist der bestimmende, aber auch der einzige Gegenstand, auf welchen Rücksicht genommen wird. Das gerippte Kreuzgewölbe des Mittelalters besteht dagegen aus einem Gestell von einzelnen steinernen Bogen, welche Rippen genannt werden, und die theils zur Verzierung, theils zum Tragen des eigentlichen Gewölbes dienen. Diese Rippen gehen von den Widerlagspfeilern aus und vereinigen sich oben mit ihren Kronen in einem gemeinschaftlichen Schlusssteine, welcher entweder in seiner Mitte eine durchgehende Oeffnung hat, oder in seinem Centrum mit einer grossen Rosette oder einem andern herabhängenden Ornament versehen ist. Im erstern Falle bildet der Schlussstein einen gegliederten Kranz, welcher äusserlich so viel kurze Ansätze hat, als Rippen mit demselben sich verbinden. Die Stellung und die Form der Rippen bilden das Hauptprincip dieses Gewölbes, welchem die zwischen den Rippen befindliche Gewölbefläche völlig untergeordnet ist. Aus diesem Grunde sind die Rippen stärker und mit mehr Sorgfalt construirt, als die zwischen denselben befindliche Gewölbedeckung, welche in dem oberen nicht hintermauerten Gewölbtheile zuweilen aus gebrannten Mauersteinen construirt ist, oder aus schwachen Schnittsteinen, welche mit centralen Lagerfugen sich gegenseitig stützend zwischen die Rippen gelegt sind; oder es ist drittens die Gewölbedeckung aus schwachen, zuweilen nur 4 Zoll starken Steinplatten, construirt, die ohne regelrechten Verband und ohne centrale Lagerfugen zwischen die Rippen gelegt sind, und

ihr festes Lager nur in dem oberhalb der Rippen befindlichen Einschnitt erhalten.

Erst in einer spätern Periode, nachdem die Construction des Fächergewölbes bekannt war, construirte man zuweilen die Gewölbdecke mit den Rippensteinen zusammenhängend, indem man die Rippen als blosse Verzierung an den Deckensteinen ausarbeitete.

In diesem Princip ist das auf Taf. XXIX Fig. 384 und Fig. 385 dargestellte Kreuzgewölbe construirt, dessen Grundbogen Sitzbogen sind; Fig. 385 ist der Grundriss, und Fig. 384 ein verticaler Durchschnitt nach der gebrochenen Linie *a' b' c' d' e' f' g' h'* des Grundrisses. Die Diagonalrippen, welche an den Gratsteinen sich befinden, vereinigen sich in dem gemeinschaftlichen Schlusssteine, und haben eine geringere Stärke, als die vier Spitzbogen, welche in dem Umfange des Kreuzgewölbes sich befinden. Dies hat darin seinen Grund, dass die Diagonalrippen nicht zum Tragen des schwebenden Gurtes, sondern nur zur Verzierung desselben dienen. Das Profil der Diagonalrippe zeigt Fig. 386, und das der übrigen Rippen die Figur 387. Beide Profile sind der Deutlichkeit wegen in einem doppelt so grossen Maassstabe gezeichnet worden als die Fig. 384 und 385, denen der beigefügte Maassstab zum Grunde liegt. Den Fugenschnitt dieses Gewölbes haben wir nur in dem einen Quadrant in Fig. 385 angegeben; in den drei übrigen Quadranten bleibt der Fugenschnitt ganz derselbe.

Eine andere Construction des Kreuzgewölbes, ausgeführt in dem Princip des Spitzbogens, zeigen Fig. 381 und Fig. 382. Hier sind nur die Diagonalrippen und die Rippen, welche in dem Umfange des Gewölbes sich befinden, aus Schnittsteinen construirt gedacht worden; wogegen die Gewölbedeckung in Form der Kappengewölbe zwischen den Rippen eingewölbt, aus Mauersteinen construirt angenommen worden ist.

Es bestehen sonach die Rippen für sich, und dienen theils zur Verzierung, theils zum Tragen der dazwischen gespannten Kappen.

Diese letzteren sind gewöhnlich nur einen halben Stein stark, mitunter sogar noch schwächer, indem bei manchen altdeutschen Kirchen die Mauersteine nicht auf der hohen Kante,

sondern mit den kleinsten Seitenflächen neben einander liegend flach eingewölbt sind. — Die Diagonalrippen des in Fig. 385 dargestellten Gewölbes haben mit den Rippen, welche in dem Umfange des Gewölbes sich befinden, einerlei Höhe; und es sind deshalb die Firsten des Gewölbes horizontal. In Fig. 382 haben aber die Diagonalrippen eine grössere Höhe als die übrigen Rippen, weshalb die Firsten dieses Gewölbes gekrümmt sind. Ein gutes Höhenverhältniss für die Krümmung der Firstlinie ist 9 : 11; d. h. die Höhe des niedrigsten Punktes der Firstlinie verhält sich zur Höhe des höchsten Punktes derselben, wie sich 9 zu 11 verhält.

In dem Umfange dieses Gewölbes befinden sich vier gleiche Spitzbogen, welche aus dem gleichseitigen Dreieck construirt worden sind. Eine gerade Ansicht dieser Spitzbogen zeigt Figur 381, welche den nach der Linie $y' z'$ Fig. 382 gedachten verticalen Durchschnitt dieses Gewölbes vorstellt. Die Höhe dieser Spitzbogen ist zugleich die Höhe der tiefsten Punkte p'' und q'' der Firstlinie $p'' b'' q''$. Und ist b'' der höchste Punkt der Firstlinie, so ist die Höhe dieses Punktes bekannt, wenn wir voraussetzen, dass die Höhen der Punkte p'' und b'' wie 9 zu 11 sich verhalten sollen.

Bei dem gothischen Kreuzgewölbe sind alle gekrümmte Linien Kreisbogen, deren Mittelpunkte ihren Ort entweder in dem Niveau der Kämpferlinie finden, oder unter, zuweilen auch über demselben. Nehmen wir den ersten Fall an, so wird der Kreisbogen $p'' b''$ erhalten, wenn man die Sehne $p'' b''$ zieht, dieselbe halbirt, und in dem Mittelpunkte eine Normale auf derselben construirt; der Durchschnittspunkt dieser Normale und der geraden Linie $A B$ ist der Mittelpunkt des Bogens $p'' b''$. Eben so findet man den Mittelpunkt von der andern Hälfte der Firstlinie. Die Diagonalrippen haben mit dem höchsten Punkte b'' der Firstlinie einerlei Höhe; wenn man daher in dem Punkte b' Fig. 382 die Linie $b' (b)$ normal auf $e' b'$ construirt, und diese Normale mit der Höhe des Punktes b'' Fig. 381 gleich gross macht, die Sehne $e' (b)$ zieht, und in deren Mitte die Linie $g m$ normal auf ihr construirt: so schneidet diese letztere Linie die Verlängerung von $e' b'$ in dem Punkte m, welches der Mittelpunkt desjenigen

Kreisbogens ist, in welchem die Diagonalrippe die Wölbungsfläche der eingewölbten Kappe schneidet. Wenn man daher aus dem Punkte m mit der Länge $m\,e'$ als Radius den Kreisbogen $e'\,(a)\,(b)$ beschreibt, sodann die Länge $e'\,h'$ mit dem Vorsprunge der Diagonalrippe vor dem Gewölbe gleich gross macht, und aus dem Punkte m den zweiten Kreisbogen $h'\,(d)\,(c)$ construirt, so stellt die Figur $e'\,(b)\,(c)\,h'$ die in die erste Projectionsebene herabgeschlagene Diagonalrippe vor.

Wenn man die übrigen Kreisbogen der Diagonalrippe auf die Linie $e'\,b'$ projicirt, und sie sodann in derselben Weise herabschlägt, wie mit dem höchsten und dem niedrigsten Kreisbogen der Rippe innerhalb des Gewölbes geschah: so dient die hervorgehende Figur theils zur Bestimmung der zweiten Projection der Diagonalrippe, theils auch zur Bestimmung der ersten Projection des Fugenschnitts dieser Rippe. Denn, wenn man den Bogen $h'\,(c)$ nach der Anzahl der Steine, welche die Diagonalrippe enthalten soll, eintheilt, durch die Theilpunkte und durch den Punkt m gerade Linien in den niedergeschlagenen Bogen construirt, so stellt diese Figur eine gerade Ansicht der Fugen vor, welche die Diagonalrippe enthält. Wenn man daher alle Punkte, in welchen die niedergeschlagenen Kreisbogen der Rippe von den Centralfugen geschnitten werden, auf die erste Projection der Diagonalrippe projicirt, und correspondirende Punkte mit einander verbindet, so erhält man dadurch die erste Projection der centralen Lagerfugen der Diagonalrippe.

Die Bogen der zweiten Projection der Diagonalrippe sind Ellipsen, welche erhalten werden, wenn man mehrere Punkte für jeden einzelnen Bogen ermittelt, und die zusammengehörigen Punkte durch eine entsprechende Curve verbindet.

Um etwa einen Punkt a'' des obersten Bogens der Diagonalrippe zu erhalten, nehme man den Punkt a' in der Linie $e'\,b'$ Fig. 382 beliebig an, ziehe $a'\,(a)$ normal auf $e'\,b'$, projicire den Punkt a' auf die Linie $A\,B$ nach a^0, und ziehe $a^0\,a''$ normal auf $A\,B$; sodann mache man $a^0\,a''$ gleich lang mit $a'\,(a)$, der Punkt a'' ist alsdann die zweite Projection des Punktes a der Diagonalrippe, dessen erste Projection a' ist.

Um einen Punkt d'' des untersten Bogens der zweiten Pro-

jection der Diagonalrippe zu erhalten, nehme man den Punkt d' Fig. 382 beliebig an, ziehe d' (d) normal auf $e'b'$, projicire den Punkt d' nach d^0 in AB, und ziehe $d^0 d''$ normal auf AB; hierauf mache man die Höhe $d^0 d''$ gleich lang mit a' (d), der Punkt d'' ist alsdann der verlangte.

In derselben Weise werden alle übrigen Punkte der zweiten Projection der Diagonalrippe erhalten.

Das Profil der Rippen dieses Gewölbes stellt Fig. 383 vor; der Deutlichkeit wegen haben wir diese Figur in den doppelten Maassen des beigefügten Maassstabes gezeichnet.

§. 140.

Wenn über einem rechtwinkligen länglich viereckigen Raume ein geripptes Kreuzgewölbe construirt werden soll, so erhalten die Firstlinien des Gewölbes verschiedene Krümmungen, und die Spitzbogen in dem Umfange des Gewölbes verschiedene Höhen, wenn man sie sämmtlich aus dem gleichseitigen Dreieck construirt. Sollen aber diese Spitzbogen einerlei Höhe erhalten, so construirt man den Bogen über der kleinern Seite des Rechteckes aus dem gleichseitigen Dreieck, und den über der grössern Seite aus dem gleichschenkligen Dreieck, dessen gleiche Schenkel kleiner sind, als die lichte Weite des Bogens.

Man kann aber auch ganz füglich umgekehrt verfahren, und den Bogen über der grössern Seite des Rechteckes aus dem gleichseitigen Dreieck, den über der kleinern Seite dagegen aus dem gleichschenkligen Dreieck construiren, dessen Schenkel grösser sind, als die lichte Weite des Bogens. Endlich können noch beide Bogen über den ungleichen Seiten des Rechteckes aus dem gleichseitigen Dreieck construirt werden, wenn gleich diese Bogen gleiche Höhen erhalten sollen. In diesem Falle wird der Spitzbogen der kleinern Seite auf eine gewisse Höhe gestelzt, d. h. die Rippe wird vom Kämpfer aus nach lothrechter Richtung so weit fortgeführt, bis man im Stande ist mit der lichten Weite des Bogens und mit dem vorgeschriebenen Höhenpunkte desselben, das gleichseitige Dreieck beschreiben zu können, aus welchem der Spitzbogen construirt werden soll.

In Fällen, wo die Höhen der Spitzbogen über den ungleichen Seiten des Rechteckes verschieden sein können, pflegt man

auch wohl die kleinere Firstlinie horizontal zu legen, und nur der grössern Firstlinie eine entsprechende Krümmung zu geben.

In diesem Princip haben wir das in den Figuren 388, 389 und 390 dargestellte Gewölbe construirt. Fig. 389 ist der Grundriss desselben; Fig. 388 ein lothrechter Durchschnitt durch diehorizontale Firstlinie, und Fig. 390 ein lothrechter Durchschnitt durch die concave Firste. Fig. 391 zeigt das Profil der Bogen, welche in dem Umfange des Gewölbes sich befinden, und Figur 392 das Profil der Diagonalrippen. Beide Profile sind in doppelten Maassen des beigefügten Maassstabes gezeichnet worden.

Auf Taf. XXXII. haben wir in Fig. 412 und Fig. 413 noch die Construction eines einfachen Kreuzgewölbes mit dem Spitzbogen dargestellt, welches über einem regulären Sechsecke aufgeführt ist. Dasselbe besteht aus drei Diagonalrippen oder grossen Kreuzträgern, deren Kronen ein gemeinschaftlicher Schlussstein verbindet. Diese grossen Kreuzträger dienen den sechs dazwischen gespannten Kappen als Widerlager.

Fig. 413 ist der Grundriss, Fig. 412 ein lothrechter Durchschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses, L ist eine gerade Ansicht des Fensterbogens, und Figur 414 eine perspectivische Ansicht des Gewölbsteines der Diagonalrippe, dessen verticaler Durchschnitt in Fig. 412 mit *a* bezeichnet ist.

§. 141.

Wenn das Kreuzgewölbe zwischen den Diagonalrippen und den äusseren Rippen in dem Umfange des Gewölbes noch andere Rippen enthält, welche mit jenen sternförmige Figuren bilden, so nennt man das Gewölbe ein Sterngewölbe oder Liernengewölbe. Die Figuren 393 und 394 zeigen die Construction eines solchen Gewölbes. Die Linien B H, B K, B L stellen hier die ersten Projectionen der Mittelrippen vor, welche in dem Theile B F I G des Grundplans zwischen den Aussenrippen B G, B F und der Diagonalrippe B I angeordnet sind. Die Kronen dieser Mittelrippen vereinigen sich sämmtlich in den Firstlinien N O und V M, welche entweder horizontal sind, wie in Figur 393, oder concav, wie in Fig. 394. —

Die Form dieser Firstlinien hat auf die Structur des Gewölbes einen wesentlichen Einfluss, denn sie bestimmt die relativen

Höhen der Kronen der Rippen. Daher kommt es denn auch, dass die Sterngewölbe in England sich wesentlich von den Sterngewölben auf dem Continent unterscheiden. In England erhielten diese Gewölbe mit wenigen Ausnahmen nur horizontale Firstlinien; wogegen die Sterngewölbe des Mittelalters in Frankreich, Deutschland und Italien in der Regel concave Firsten erhielten. Die Wirkung eines Gewölbes dieser Art hängt daher vornehmlich von der Krümmung der Rippen und von der Form der Firstlinie ab; aus diesem Grunde beherrscht die Krümmung derselben den Character des Gewölbes. Bei der Anlage eines Gewölbes dieser Art ist daher die Feststellung der Firstlinie einer der ersten Gegenstände, worauf Rücksicht genommen werden muss. —

In der frühesten Periode des gothischen Styls wurde in der kirchlichen Architectur bei den bedeutendsten Domen nur das einfache Kreuzgewölbe in Anwendung gebracht. Man nannte hier alle Gewölbebogen Kreuzbogen, und unterschied diese in Gurtbogen, Gratbogen, kleine Scheidebogen und Schildbogen. Unter Gurtbogen verstand man diejenigen Bogen, welche von einem Säulenschafte zum andern quer durch das Langhaus oder durch die Seitenflügel sich wölben; Gratbogen hiessen die Bogen, welche über der Diagonale des überwölbten Raumes sich befinden; kleine Scheidebogen hiessen die Bogen, welche im Langhause von einem Schaft zum andern dasselbe von den Seitenflügeln trennen; und endlich Schildbogen nannte man diejenigen Bogen, welche in den Seitenflügeln an den Umfassungsmauern sich befinden.

Die Gurtbogen wurden in dieser Periode immer stärker construirt, als das dazwischen gespannte Kappengewölbe; auch wurden sie stärker profilirt, als die Gratbogen.

In den spätern verschiedenen Perioden des gothischen Styls wurden aber die Gurtbogen immer schwächer construirt, bis endlich in der letztern Periode der Unterschied der Gurt- und Gratbogen hinsichtlich ihrer Stärke gänzlich verschwand, indem beide als Gewölberippen einerlei Profil erhielten.

Erhielt das Kreuzgewölbe ausser diesen angeführten Bogen noch andere Rippen, so nannte man diese Reihungen.

Eine andere Benennung dieser Bogen fand später Eingang, indem man die Gurtbogen Transversalrippen nannte, und die klei-

nen Scheidebogen und die Schildbogen Mauerrippen. Die übrigen Rippen, welche vom Kämpfer bis zur Firste sich erheben, hiessen Mittelrippen; und endlich alle übrigen kurzen Rippen, welche in dem obern Theile des Gewölbes zwischen den Diagonalrippen, Mittelrippen und Transversalrippen sternförmige Figuren bilden, wurden Liernen genannt. Diese Benennung soll von uns in der Folge beibehalten werden.

Da in dem Gewölbebau der Kirchen die überwölbten Räume in der Regel ein längliches Rechteck bilden, wo die Transversalrippe über der grössern Seite des Rechtecks construirt ist, die Mauerrippe aber über der kleinern Seite, würden in Fig. 393 und Fig. 394 die Rippen über A D und B C Mauerrippen heissen, und die Rippen über A B und D C Transversalrippen; Mittelrippen wären dagegen die über B H, B K und B L. Es wäre sonach A O D die Mauerrippe, A V B die Transversalrippe, B R D die Diagonalrippe; aber B S A, B Q und B P wären Mittelrippen.

§. 142.

Die Liernen sind in der Regel so angeordnet, dass sie mit den übrigen Rippen sternförmige Figuren bilden. Die Figuren 395 bis 400 auf Taf. XXX, so wie die Figuren auf Taf. XXXI. enthalten verschiedene Zusammenstellungen der Liernen.

In Fig. 395 bilden nur Mittelrippen und Diagonalrippen einen strahlenden Stern, dessen Strahlen von der Mitte des Gewölbes ausgehend, in den vier Gewölbeanfängen sich verlieren. Die Richtung der Mittelrippen trifft auf die Mitten *e*, *h*, *g*, *f* der Seiten des Grundplans, welcher hier quadratisch angenommen worden ist.

In Fig. 396 bildet der Grundplan ein Rechteck, über welchem ein strahlender Stern von der Mitte ausgehend in den vier Kämpferpunkten sich verliert. Kurze Kreuzrippen verbinden die Mittelrippen unter sich, und heben die Sternform kräftiger hervor. Die Richtung der Mittelrippen geht auch hier durch die Mitten *e* und *f* der Seiten des Grundplans. —

Ein anderes Arrangement des Sternes zeigt Fig. 397; wegen des länglichen Grundplanes sind hier die Mittelrippen nicht auf die Mitten der Seiten des Rechteckes gerichtet, sondern auf Punkte, welche die längern Seiten des Rechteckes in drei gleiche

Theile, die kleineren Seiten aber in vier gleiche Theile eintheilen, so dass $b\,o = o\,h = h\,c$, und $b\,e = \frac{1}{4}\,b\,a$ wird.

In Figur 398 bilden die Rippen einen grösseren und einen kleineren Stern. Dieselbe Anordnung zeigt Fig. 400. Beide Figuren unterscheiden sich nur darin von einander, dass in Figur 400 alle Strahlen des kleineren Sternes gleich gross sind, wogegen in Fig. 398 ein kleinerer Strahl mit einem grösseren wechselt.

In Fig. 399 befindet sich in der Mitte eine Rosette, von welcher ein grosser Stern nach den vier Kämpferpunkten hin seine Strahlen sendet. Kurze Rippen verbinden die Diagonal- und Mittelrippen, und bilden mit einander ein reguläres Achteck. Die Richtung der Mittelrippen geht hier nicht durch die Mitten *k* und *m* der Seiten des Grundplans, sondern durch die Punkte *e* und *i*, welche in gleichen Abständen zur Seite der Mitte *k* sich befinden.

In Fig. 401 Taf. XXXI. steht in der Mitte des Grundplans ein grosser strahlender Stern, welcher abwechselnd aus grössern und kleinern Strahlen besteht.

Dieselbe Anordnung ist in Fig. 402 getroffen worden, wo der Grundplan des Gewölbes kein Quadrat, wie in Fig. 401, sondern ein Rechteck bildet.

Figur 403 zeigt die Anordnung eines Sternes mit gleichen Strahlen über einem quadraten Raume.

Fig. 404 zeigt eine veränderte Form des Sternes, wie derselbe mitunter in Vorhallen und Thurmgewölben vorkommt.

Eine reichere Zusammenstellung der Rippen zeigt Fig. 405, da hier nicht allein in der Mitte ein grosser strahlender Stern vorhanden ist, sondern zur Seite desselben noch vier kleinere sich befinden.

In Fig. 406 bilden die Rippen einen Stern, in welchem ein längliches Kreuz mit gespitzten Enden sich befindet. Eine ähnliche Kreuzform tritt in Figur 407 hervor, welche als Thurmgewölbe vorkommt.

Die Zusammenstellung der Rippen in Fig. 408 bildet zwei Sterne, einen grössern und einen kleinern, deren Strahlen vom Mittelpunkte des Gewölbes ausgehen. Betrachtet man aber zwei neben einander liegende Gewölbe-Abtheilungen, so wird man fin-

den, dass ausser jenen Sternen noch andere sich bilden, deren Strahlen von den Kämpferpunkten ausgehen. Dasselbe gilt von Fig. 409.

Die Zusammenstellung der Rippen in Fig. 410 bildet einen länglich strahlenden Stern, dessen Strahlen vom Centrum des Gewölbes ausgehen. Wird das Gewölbe erweitert gedacht, so tritt zwischen zwei grossen Sternen noch ein kleinerer hervor, dessen Centrum die Mitte der Transversalrippe ist.

Ausser den hier angeführten strahlenden Sternfiguren, welche durch verschiedene Zusammenstellungen der Rippen gebildet werden können, werden bei manchen Liernengewölben des Mittelalters auch noch andere Figuren und Ornamente angetroffen. Ein Beispiel dieser Art zeigt Fig. 411, welches im Münster zu Freiburg vorkommt. Eben daselbst befindet sich auch das in Figur 407 dargestellte Liernengewölbe.

§. 143.

Nachdem wir in den zwei vorangegangenen Paragraphen die Structur des Stern- und Liernengewölbes im Allgemeinen beschrieben haben, kommen wir zur Details-Construction dieser Gewölbe, welche in Fig. 415 bis Fig. 421 dargestellt worden ist.

Fig. 416 Taf. XXXII. ist der Grundriss eines reichen Sterngewölbes über dem quadraten Raume, Fig. 415 ist ein verticaler Durchschnitt desselben nach der Linie C′ D′ des Grundrisses, Fig. 417 ein Diagonalschnitt, und Fig. 418 endlich eine gerade Ansicht von dem Gurtbogen, dessen erste Projection A′ B′ ist.

Mit der Form der Firstlinie sind die Höhen der Kronen sämmtlicher Spitzbogen gegeben. Um daher dies Gewölbe zu construiren, darf man nur die Form der Firstlinie beliebig annehmen, so wird man mit Benutzung des Grundrisses sämmtliche Rippen construiren können. Man kann aber auch umgekehrt verfahren, und die Form des Spitzbogens der Diagonalrippe, so wie die Form des Gurtbogens beliebig annehmen; dadurch wird die Form der Firste, so wie auch die der übrigen Rippen bestimmt. Denn folgerecht den Principien des gothischen Stils müssen sämmtliche Bogen der Rippen Kreisbogen sein, Ellipsen oder andere Curven sind diesem Stil fremd. Durch je zwei Punkte kann man aber stets einen Kreisbogen construiren, wenn der geometrische Ort des Mit-

telpunktes des Bogens gegeben ist. Bei den Sterngewölben der französischen Cathedralen befindet sich der geometrische Ort der Mittelpunkte aller Rippen gewöhnlich in dem Niveau der Kämpferpunkte oder der Gewölbeanfänge; und es ist nicht zu verkennen, dass der Spitzbogen bei diesem Princip die gefälligste Form erhält. Der hufförmige Spitzbogen, welcher hervorgeht, wenn der Mittelpunkt der Rippe über dem Niveau der Kämpferpunkte liegt, ist minder schön; eben dasselbe ist der Fall, wenn der Mittelpunkt unterhalb der Kämpferebene zu liegen kommt.

Aus diesem Grunde nahmen wir bei diesem Gewölbe den geometrischen Ort der Mittelpunkte sämmtlicher Rippen in der Kämpferebene an, und legten der Construction des Gewölbes die Form der Diagonalrippe, so wie die des Gurtbogens in dem Umfange des Gewölbes zum Grunde, indem wir diese beliebig annahmen. Und damit die Firstlinie des Gewölbes nicht zu sehr concav würde, construirten wir diese beiden Spitzbogen nicht aus dem gleichseitigen Dreieck, sondern aus dem gleichschenkligen Dreieck, indem wir die Diagonalrippe aus den Mittelpunkten E''' und E_2''' Fig. 417 beschrieben, deren Entfernung von einander geringer ist als die lichte Weite des Bogens. Den Spitzbogen des Gurtbogens haben wir aber aus den Punkten L und M Fig. 418 beschrieben, deren Entfernung von einander grösser ist als die lichte Weite des Bogens.

Die Anordnung des Grundrisses Fig. 416 bedarf keiner weitern Beschreibung, insofern dieselbe aus der Zeichnung deutlich hervorgeht. Weniger einfach ist dagegen die Construction des in Fig. 415 dargestellten Durchschnitts dieses Gewölbes; da derselbe zugleich noch eine gerade Ansicht sämmtlicher Rippen der einen Hälfte des Gewölbes enthält, und diese Rippen hier als Ellipsen erscheinen, welche aus einzelnen Punkten construirt werden müssen. Um nun diesen Durchschnitt zu construiren, verfahre man auf folgende Weise:

Den Mittelpunkt E''' Fig. 417 der Diagonalrippe projicire man nach E' Fig. 416, und beschreibe aus diesem Punkte mit der Länge $E'\,a'$ den Kreisbogen $a'\,(b)$. Hierauf nehme man die Länge $a'\,a_3'$ gleich dem innern Vorsprung der Rippe vor dem Gewölbe, mache $a'\,a_2'$ gleich der Tiefe der Abschrägung, und

construire die Bogen a_2' (d_2) und a_3' (d_3) concentrisch zu dem Bogen a' (b); diese drei Bogen stellen die in die erste Projectionsebene herabgeschlagene Diagonalrippe vor, und dienen zur Bestimmung der zweiten Projection dieser Rippe. Um z. B. die Punkte α'', β'', γ'', δ'' Fig. 415 zu erhalten, darf man nur in beliebiger Höhe die Linie (α) (δ) Figur 416 parallel mit d' a' ziehen, ihre Schneidungspunkte (α), (γ), (δ) mit den herabgeschlagenen Kreisbogen dieser Rippe normal auf a' d' nach α', β', γ', δ' projiciren, die Linie α'' δ'' Fig. 415 parallel mit P Q construiren, und zwar in einer Entfernung von derselben, welche der Höhe der Linie (α) (δ) über a' d' gleich ist; sodann den Punkt α' nach α'', β' nach β'', γ' nach γ'' und δ' nach δ'' projiciren, die erhaltenen Punkte sind Punkte der zweiten Projection der Diagonalrippe. In derselben Weise bestimme man in nicht zu grossen Entfernungen von einander noch andere Punkte dieser Rippe, und verbinde entsprechende Punkte durch elliptische Bogen: die erhaltene Figur ist die zweite Projection der Diagonalrippe.

Bevor man zur Bestimmung der zweiten Projection der übrigen Rippen schreitet, construire man die Firstlinie des Gewölbes. Zu dem Ende projicire man den Punkt z' Fig. 416 auf die Linie P Q nach z^0, ziehe z^0 z'' normal auf P Q, und mache sie gleich lang mit d' (d_3): der Punkt z'' ist der höchste Punkt der Firste. Der tiefste Punkt r'' der Firste hat mit dem Punkte N Fig. 418 einerlei Höhe, und ist sonach bekannt. Man darf daher nur die Punkte z'' und r'' durch eine gerade Linie verbinden, auf ihrer Mitte eine Normale construiren, der Durchschnittspunkt p^0 dieser Normale und der Linie P Q ist der Mittelpunkt des Kreisbogens z'' r''. Eben so wird die andere Hälfte der Firstlinie bestimmt. Man schreite nun zur Bestimmung der zweiten Projection der Mittelrippen. Zu dem Ende schlage man eine der Mittelrippen in die erste Projectionsebene herab, etwa die Mittelrippe, deren erste Projection c' l' ist. [Das Zeichen l' fehlt in Figur 416; dasselbe gehört an den Durchschnittspunkt der Linien H' W' und V' c'.] Wenn diese Rippe bis zur Firste hinauf sich erstreckte, so würde sie letztere in dem Punkte g'' treffen, dessen erste Projection g' ist. Man darf daher nur den Punkt g' auf die Linie P Q projiciren, g^0 g'' normal auf der letztern Linie con-

struiren, so wäre $g^0 g''$ die Höhe, in welcher die Mittelrippe die Firstlinie treffen würde, wenn sie bis an diese sich erstreckte.

Man ziehe nun die Linie $g'(g)$ normal auf $c' g'$, und mache sie gleich lang mit $g^0 g''$; ziehe ferner die Sehne $(g)\, c'$, und construire in ihrer Mitte die Linie $h V'$ normal auf ihr: der Durchschnitt V' dieser Normale und der Linie $c' g'$ ist der Mittelpunkt dieser Rippe. Endlich ziehe man l' (l_3) normal auf $c' l'$, und construire aus dem Punkte V' als Mittelpunkt die Kreisbogen $c'(l)$, $c_2'(l_2)$, $c_3'(g)$; diese Bogen stellen dann die in die erste Projectionsebene herabgeschlagene Mittelrippe vor. Um nun Punkte n'', n_2'', n_3'', n_4'' der zweiten Projection dieser Rippe zu erhalten, darf man nur die Linie $(n)\,(n_3)$ in beliebiger Höhe parallel mit $c' g'$ ziehen, ihre Schneidungspunkte (n), (n_2), (n_3) mit den Kreisbogen der Rippe nach n', n_2', n_3' und n_4' projiciren, sodann in Fig. 415 die Linie $n'' n_4$ parallel mit P Q ziehen, und zwar in einer Höhe, welche der Höhe der Linie $(n)\,(n_3)$ über $c' l'$ gleich ist, und dann den Punkt n' nach n'', n_2' nach n_2'', n_3' nach n_3'', und n_4' nach n_4'' projiciren: die erhaltenen Punkte sind Punkte der zweiten Projection dieser Mittelrippe. In derselben Weise verfahre man mit jeder Mittelrippe, deren zweite Projection in Fig. 415 sichtbar ist. —

Die kurze Rippe, deren erste Projection $b' o'$ Fig. 416 ist, hat in ihrem höchsten Punkte einerlei Höhe mit der Diagonalrippe, und in ihrem tiefsten Punkte o einerlei Höhe mit dem höchsten Punkte der Mittelrippe. Sie wird daher in die erste Projectionsebene herabgeschlagen, wenn man aus dem Punkte b' als Mittelpunkt mit der Länge $b' o'$ den Kreisbogen $o' o_2'$ beschreibt, in dem Punkte o_2' die Linie $o_2'(o)$ normal auf $d' a'$ construirt, und dieselbe mit $l'(l)$ gleich lang macht. Wenn man ferner die Sehne $(d)\,(o)$ zieht, und in ihrer Mitte x die Normale $x F'$ construirt: der Durchschnitt F' dieser Normale und der Diagonale des Grundrisses ist der Mittelpunkt der herabgeschlagenen kurzen Rippe, aus welchem der Kreisbogen $(d)\,(o)$, so wie die beiden andern Kreisbogen dieser Rippen construirt werden.

Um endlich noch die kurze Rippe, deren erste Projection $o' m'$ ist, herabzuschlagen, schlage man dieselbe zunächst auf die

Diagonalrippe, indem man die Linie $b' o'$ verlängert, aus dem Punkte o' als Mittelpunkt mit der Länge $o' m'$ den Kreisbogen $m' m_2'$ beschreibt, und aus dem Punkte b' als Mittelpunkt mit der Länge $b' m_2'$ den Bogen $m_2' m_3'$ construirt: die Länge $o_2' m_3'$ ist dann die erste Projection der kurzen Rippe $o\ m$, dieselbe auf die Diagonalrippe geschlagen.

Der Punkt m dieser kurzen Rippe hat mit dem Punkte O Fig. 418 einerlei Höhe, und man darf daher nur in dem Punkte m_3' die Linie m_3' (m) normal auf $a' d'$ construiren, und dieselbe mit der Höhe des Punktes O Figur 418 über $L M$ gleich gross machen, so hat man zwei Punkte (o), (m), durch welche der innerste Kreisbogen dieser kurzen Rippe construirt werden kann, da der Mittelpunkt dieses Kreisbogens in der Diagonale $a' d'$ liegen muss. Die beiden anderen Kreisbogen dieser Rippe sind nun leicht zu construiren, da sie aus dem Mittelpunkte R' des erstern Kreisbogens beschrieben werden.

Diese herabgeschlagenen kurzen Rippen werden nun eben so zur Bestimmung der zweiten Projection derselben benutzt, wie wir dies bei der Diagonalrippe und der Mittelrippe zeigten.

§. 144.

Fig. 425 Taf. XXXIII. ist der Grundriss eines Sterngewölbes mit doppelt strahlendem Sterne; einem grössern, dessen Strahlen in den Gewölbeanfängen sich verlieren, und einem kleinern, dessen Strahlen mit den des grössern sich vereinigen. Wegen der Regelmässigkeit sind sämmtliche Mittelpunkte der verschiedenen Rippen in dem Planum des Gewölbeanfanges angenommen worden.

Der Spitzbogen der Diagonale und der Spitzbogen des Gurtbogens sind der Construction des Gewölbes zum Grunde gelegt worden. Der Punkt z ist der Mittelpunkt der Diagonalrippe $h k g f$; y ist der Mittelpunkt der Mittelrippe $o l e d$, und x der Mittelpunkt der kurzen Rippe $v s$.

Fig. 424 ist ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A B des Grundrisses. Die relativen Höhen der Firstlinie ergeben sich aus der Höhe $p q$ des Diagonalschnitts und der Höhe des Gurtbogens. Die Punkte a und b sind die Mittelpunkte der Firstlinie.

Fig. 426 zeigt den Fugenschnitt der Rippen dieses Gewölbes, so wie die Construction der kleineren Schlusssteine, durchwelche die Kronen der zusammentreffenden Rippen gegenseitig verbunden werden. In dem Punkte c treffen vier Rippen zusammen, deren erste Projection im Grundrisse gegeben ist. Diese vier Rippen haben wir in die erste Projectionsebene herabgeschlagen, und es ist D B die herabgeschlagene Mittelrippe, deren erste Projection $a' c'$ ist; C A ist die andere herabgeschlagene Mittelrippe, deren erste Projection $b' c'$ ist; C E und D F sind die herabgeschlagenen kurzen Rippen, deren erste Projection $c' s'$ und $c' p'$ vorstellen.

Der gemeinschaftliche Schlussstein dieser vier Rippen muss mit seinen Enden auf eine gewisse Länge in jede Rippe eingreifen, und erhält deshalb vier verschiedene Bettungen, welche durch die Fugen $d'' n''$, $h'' k''$, $t'' l''$ und $q'' m''$ in den herabgeschlagenen Figuren bestimmt werden. Die Fugen $d'' n''$ und $h'' k''$ der beiden Mittelrippen gehen durch die Mittelpunkte x und y dieser Rippen, und vermitteln sonach die feste Lagerung des Schlusssteins auf diesen Rippen; die Fugen $t'' l''$ und $q'' m''$ der kurzen Rippen erhalten dahingegen entweder eine lothrechte Richtung, oder eine solche, welche nur wenig von der lothrechten Richtung abweicht, ohne durch die zugehörigen Mittelpunkte z und v dieser Rippen zu gehen.

In den herabgeschlagenen Mittelrippen bezeichnen A und B die Theile des Schlusssteins, mit welchen derselbe den Schluss dieser Rippen bildet. Dasselbe bezeichnen C und D bei den kurzen Rippen. Diese Theile werden oberhalb von einer horizontalen Ebene begrenzt, aus Gründen, welche weiter unten angegeben werden.

Um nun die erste Projection des Schlusssteins festzustellen, darf man nur die Fugen $d'' n''$, $h'' k''$, $t'' l''$ und $q'' m''$ dieses Steins auf die entsprechenden Linien im Grundrisse projiciren, indem man den Punkt d'' nach d' und d_2' projicirt, e'' nach e' und e_2', n'' nach n', h'' nach h' und h_2', i'' nach i' und i_2', und endlich k'' nach k' projicirt: die Figuren $d' e' n' e_2' d_2'$ und $h' i' k' i_2' h_2'$ sind alsdann die ersten Projectionen von den Lagerfugen des Schlusssteins in den beiden Mittelrippen. Auf dem-

selben Wege erhält man die Fugen m' und l' in den kurzen Rippen, und damit die vollständige untere Ansicht $c' n' e_2' l' m' i_2' k' i$ dieses Schlusssteins.

Dieser Schlussstein besteht entweder nur aus den vier Rippentheilen A, B, C, D, mit welchen derselbe den Schluss der zusammentreffenden vier Rippen bewirkt, indem diese vier Theile separat, wie eben so viele Zweige ausgearbeitet sind; oder derselbe nimmt zugleich noch die Theile des Kappengewölbes auf, welche zwischen seinen Schenkeln sich befinden. Letzteres ist unstreitig zweckmässiger als jenes, da der Schlussstein in diesem Falle eine weit grössere Festigkeit erlangt.

Die Bearbeitung dieses Schlusssteins geschieht in folgender Weise:

An einem passenden Steine bearbeite man zunächst die obere horizontale Bettung, wovon $f'' g''$ ein Theil ist. Ist dies geschehen, so nehme man den Punkt c' in derselben so an, dass die vier darzustellenden Rippentheile Material genug finden, und trage an diesen Punkt c' die Richtungen der vier Achsen $c' a'$, $c' b'$, $c' s'$ und $c' p'$ der zusammentreffenden vier Rippen, indem man die vier Winkel, welche diese Linien mit einander im Planum bilden, mittelst der Schmiege von dem in natürlicher Grösse gezeichneten Musterrisse abnimmt, und an den Punkt c' auf den Stein trägt. Sodann werden die Längen $c' d'$, $c' h'$, $c' m'$ und $c' l'$ aufgetragen, durch die Endpunkte derselben gerade Linien $d' d_2'$, $h' h_2'$ u. s. f. normal auf den angenommenen Achsen construirt, und durch diese zuletzt gezogenen Linien Ebenen gelegt, welche auf der obern Bettung normal stehen, und daher eine lothrechte Richtung haben, wenn die obere Ebene horizontal ist.

Auf diese lothrechten Ebenen werden nun die Mittellinien der Rippen getragen, sodann die lothrechten Längen, wie $g'' d''$, $u'' h''$ u. s. f. bezeichnet, und von diesen aus die Centralfugen der Rippen mittelst Stichmaass festgesetzt. Sind diese Lagerfugen dargestellt, so werden die Rippentheile mittelst Schablone vollends ausgearbeitet, so wie auch die übrigen Bettungen des Steins.

Bei der Bearbeitung der übrigen Gewölbsteine der Rippen finden keine Schwierigkeiten weiter Statt.

Wenn das Gewölbe mehrere Mittelrippen erhält, so kommen

dieselben in ihren unteren Steinen so nahe an einander zu liegen, dass die Gliederungen der Rippen sich gegenseitig durchdringen und verflechten, einige sogar gänzlich verschwinden. Hier dürfen die Rippensteine nicht mehr einzeln zugehauen werden, sondern mehrere Rippen werden von einem einzigen Block aufgenommen, welcher Anfangs nur im Rohen mit Andeutung der Mittellinien der verschiedenen Rippen, welche derselbe aufnehmen soll, bearbeitet und versetzt, und dann erst im Detail von oben nach unten bearbeitet wird, nachdem die oberen einzelnen Steine der Rippen aufgesetzt sind.

Wenn die unteren Gewölbsteine horizontale Lagerfugen erhalten, wie dies bei Gewölben dieser Art in der Regel geschah, können die Rippen an dem Block, welcher sie aufnehmen soll, auch vor dem Versetzen desselben vollständig ausgearbeitet werden. Es werden alsdann auf dem oberen und auf dem unteren horizontalen Lager des Blockes die Mittellinien der verschiedenen Rippen aufgetragen, und die Schablonen der Profile der Rippen mit ihren Mittellinien auf jene Mittellinien gelegt, welche auf dem Block construirt worden waren. Sodann wird der Umriss jeder Schablone aufgerissen, wodurch der Arbeiter die Punkte erhält, in welchen die Glieder der Rippe sich durchdringen oder überdecken. Die Glieder, welche nicht verdeckt werden, können nun vollständig ausgearbeitet werden. Hierbei ist es jedoch nothwendig, dass die Ausladung der Leibung jeder Rippe in der betreffenden Lagerfuge genau bekannt sei, damit die Schablonen richtig angelegt werden können.

§. 145.

Bei den frühesten gerippten Gewölben bestehen die Rippen aus einem Bogen von einem einzigen Mittelpunkte, welcher seinen geometrischen Ort gewöhnlich in der horizontalen Ebene findet, die durch den Gewölbeanfang geht. Die Rippen sind hier aus vielen kleinen einzelnen Gewölbsteinen construirt, welche bis zum Niveau des Gewölbeanfangs hinabgehen, und an der Rückseite nur roh verbunden sind. Dies ist z. B. der Fall bei dem gerippten Gewölbe des hohen Chors von Canterbury, woselbst in einer transversen Rippe von 30 Fuss Spannung gegen 100 Steine gezählt werden. Erst in einer spätern Periode wurde

die zweckmässige Anordnung getroffen, in dem untern Gewölbtheile sämmtliche Rippen aus einem Steine hervorgehen zu lassen. Hierbei liess man jedoch nicht ausser Acht, die gegenseitige Unabhängigkeit der Rippen von einander durch die Art und Weise, in der sie vom Gewölbeanfange ausgehen, besonders hervorzuheben, indem man einige mehr oder weniger hervortreten liess als die übrigen, je nachdem der mittlere horizontale Querschnitt des Gewölbes es erheischte.

Der horizontale mittlere Querschnitt des Rippengewölbes, welcher hervorgeht, wenn man durch die Mitte der lichten Höhe des Gewölbes einen horizontalen Durchschnitt denkt, nahm nach und nach verschiedene Formen an. Dies war eine ganz natürliche Folge der wiederholten Anwendung dieses Gewölbes. So wie jeder Meister sich bemüht, seinem Werke eine schönere und zweckmässigere Form zu geben, als ähnliche vorhandene Werke bereits besitzen, eben so waren auch die alten Baumeister bemüht, diejenigen Formen, welche durch öftere Anwendung dem Auge gleichgültig geworden waren, mit anderen zu vertauschen, welche sie für schöner und zweckmässiger hielten. Daher kam es, dass die einfache viereckige Form des horizontalen mittleren Querschnitts, welche wir beim einfachen römischen Kreuzgewölbe finden, nach und nach in die Form eines regulären Polygons überging, und diese endlich der Kreisform im englischen Fächergewölbe wieder Platz machte.

Zu diesen letzteren Formen fühlte man sich nicht bloss durch die schönere Form hingezogen, sondern auch in constructiver Hinsicht sprachen gute Gründe für diese Veränderung der Form. Denn beim römischen Kreuzgewölbe lastet der schwebende Gurt auf der Diagonalrippe, und belastet diese ausserordentlich. Die Anordnung der Mittelrippen entlastete schon die Mittelrippe bedeutend; noch mehr geschah dies durch die Anordnung der Mittelrippen in Verbindung mit den kurzen Rippen; am meisten geschah dies aber beim regulären polygonen Querschnitte. Denn hier tritt die Diagonalrippe bedeutend zurück, die Mittelrippe aber hervor, wie aus Fig. 422 und Fig. 423 Tafel XXXIII ersehen werden kann. Diese verschiedenen Formen des mittleren Querschnitts gingen theils aus der veränderten Stellung der Rippen

hervor, theils aus den veränderten Radien der Rippen und der damit veränderten Lage der Mittelpunkte derselben.

In den Figuren 419 bis 423 Taf. XXXIII haben wir die verschiedenen Formen dieses mittleren Querschnitts dargelegt. Fig. 419 zeigt den mittleren Querschnitt des römischen Kreuzgewölbes, welchen man auch in der Fig. 420 dargestellten Form beizubehalten bemüht war, und hier nur die Mittelrippen zurücktreten liess, um die sternförmige Form zu erhalten. In den Formen, welche Fig. 421, Fig. 422 und Fig. 423 darlegen, verliess man endlich die rechtwinklige Form, indem man das reguläre Polygon einführte.

Einen eigenthümlichen mittleren Querschnitt hat das in Figur 430 Tafel XXXIV dargestellte gerippte Gewölbe, dessen Form *a b c* so sehr der Kreislinie sich nähert, dass man versucht werden könnte, dies Gewölbe für ein Fächergewölbe zu halten, was es doch keinesweges ist.

§. 146.

Gerippte Gewölbe können horizontale oder concave Firsten haben; und der geometrische Ort des Mittelpunktes der Rippen kann entweder im Niveau des Gewölbeanfanges sich befinden, oder oberhalb, oder auch unterhalb desselben. Die einzelnen Bogen der Rippen können aus einem Mittelpunkte beschrieben sein, oder aus zweien, je nachdem die Form der Firste dies erfordert. Während in Frankreich, Deutschland und Italien fast nur concave Firsten mit Rippenbogen, welche aus einem Mittelpunkte beschrieben sind, vorkommen, haben die gerippten Gewölbe Englands meist horizontale Firstlinien mit Bogen, welche aus verschiedenen Mittelpunkten beschrieben sind. Es kann jedoch nicht in Abrede gestellt werden, dass auch in England Gewölbe mit concaven Firsten vorkommen, wie dies z. B der Fall ist in dem Schiff der Kirche von Worcester; dergleichen Fälle kommen aber selten vor.

In dem Vorangegangenen haben wir bereits gezeigt, wie mit der Form der Diagonalrippe und der Form des Gurtbogens die Gestalt der Firstlinie gegeben ist, wenn die Mittelpunkte der Rippen in der horizontalen Ebene des Gewölbeanfanges liegen sollen; und wie umgekehrt aus der gegebenen Form der conca-

ven Firstlinie die relativen Höhen sämmtlicher Spitzbogen gegeben sind.

Wir hätten sonach nur noch zu zeigen, wie bei der horizontalen Firstlinie die Bogen der Rippen construirt werden müssen. — Es sei Fig. 427 Taf. XXXIII *A B C D* der Grundriss eines gerippten Kreuzgewölbes, *A B* die kleinere Seite des Grundplans und *B C* die grössere. Ueber der kleinern Seite *A B* beschreiben wir den Spitzbogen *A i B* aus dem gleichseitigen Dreieck, also aus den Punkten *A* und *B*; dadurch ist die Höhe *h i* der rechtwinklig sich kreuzenden horizontalen Firstlinien gegeben. Obwohl mit der Höhe *h i* die Höhen aller übrigen Rippen gegeben sind, bedürfen wir zur Construction derselben doch noch den mittleren horizontalen Querschnitt des Gewölbes, da in demselben sämmtliche Rippen einerlei Höhe haben müssen. Zu diesem Behuf halbiren wir den Bogen B *i* der Mauerrippe in *t*, ziehen *t o* normal auf B A, und nehmen die Figur *o p q r s* als Form des mittlern Querschnitts beliebig an.

Um nun den Spitzbogen der Transversalrippe über B C zu construiren, errichten wir in den Punkten *k* und *s* Normalen auf B C, und machen dieselben mit *h i* und *o t* beziehlich gleich lang; d. i. *k l* = *h i* und *s w* = *o t*. Zur Construction des Bogens B *w l* sind nun drei Punkte gegeben, durch welche derselbe gehen soll, und damit ist die Form dieses Bogens gegeben. Um den Bogen der Mittelrippe B *f* zu erhalten, ziehen wir *p u* normal auf B *f*, und machen diese Linie mit *o t* gleich lang; ferner construiren wir in dem Punkte *f* die Linie *f v* normal auf *f* B und machen dieselbe mit *h i* gleich lang, so haben wir für den Kreisbogen B *u v* drei Punkte, durch welche derselbe gehen soll, und damit ist der Mittelpunkt *a* dieses Bogens gegeben; denn man darf nur die Sehnen B *u* und *u v* ziehen, in den Mitten α und β derselben Normalen auf diesen Sehnen construiren, der Durchschnittspunkt *a* derselben ist der Mittelpunkt des Bogens B *v*.

Auf demselben Wege ergiebt sich der Punkt *d* als Mittelpunkt des Kreisbogens B *z*, und *b* als Mittelpunkt des Bogens *D z* der Diagonalrippe, so wie auch der Punkt *c* als Mittelpunkt der Mittelrippe B *n*.

Hiernach sind nicht bloss die Höhen *h i*, *f v*, *m z*, *g n* und

k l gleich gross, sondern auch die Höhen *o t*, *p u*, *q y*, *r x* und *s w* des mittlern horizontalen Querschnitts haben gleiche Maasse.

§. 147.

A B C D Fig. 428 Taf. XXXIV ist der Grundriss eines gerippten Gewölbes, dessen Firstlinien horizontal sind, und die Bogen der Rippen nicht aus einem Mittelpunkte, sondern aus mehreren Mittelpunkten construirt worden sind. Die Höhe *Z N* der Firstlinie sei gegeben, so wie noch die Bedingung, dass sämmtliche Rippen in den unteren Theilen einerlei Krümmung, also auch einerlei Radien haben sollen — Um nun die Form der Rippen festzustellen, construire man wie folgt:

Man nehme den Punkt *O* in der Mitte der Höhe *N Z* des Gewölbes an, ziehe die gerade Linie *O X*, und beschreibe aus dem Punkte *J*, in welchem die Linie *A* B von *O X* geschnitten wird, mit der Länge *J* B den Kreisbogen B O. Hierauf ziehe man die gerade Linie *N O*, und construire auf derselben in ihrer Mitte eine Normale, von welcher die Linie *O X* in *X* geschnitten wird; dieser Punkt *X* ist der Mittelpunkt des obern Kreisbogens *O N* der Mauerrippe.

Den Bogen B *O M* der Mittelrippe B E zu erhalten, mache man B H gleich B E, ziehe *H M* normal auf B A, und mache sie gleich lang mit *Z N*. Zufolge der gegebenen Bedingung, dass alle Rippen in der unteren Hälfte des Bogens dieselbe Krümmung haben sollen, stellt der Bogen B O das Profil der untern Hälfte dieser Rippe vor. Und um den oberen Bogen *O M* zu erhalten, darf man nur einen Kreisbogen construiren, welcher durch die gegebenen Punkte *O* und *M* geht, und dessen Mittelpunkt in der Linie *O X* liegt. Wenn man daher construirt wie beim Bogen *O N* oben gezeigt wurde, so ergiebt sich der Punkt *a* als Mittelpunkt des Bogens *O M*.

Um endlich noch den Bogen B O L der Diagonalrippe B F zu erhalten, mache man B K gleich B F, ziehe *K L* normal auf B A, und mache diese Linie gleich lang mit *Z N*. Sodann ermittele man auf demselben Wege, wie oben gezeigt wurde, den Mittelpunkt eines Kreisbogens, welcher durch die Punkte *O* und

L geht, construire diesen Bogen mit dem Radius *b O*; die Curve B O L ist dann der Bogen der Diagonalrippe.

Auf demselben Wege construire man den Bogen der Transversalrippe B C, deren Mittelpunkte die Punkte *d* und *c* sind.

§. 148.

Fig. 430 Taf. XXXIV ist der Grundriss eines Sterngewölbes mit horizontalen Firstlinien, und dessen Rippen in demselben Princip construirt sind, wie dies der vorige Paragraph beschrieb. Alle Rippen haben nämlich in ihren Kronen einerlei Höhe, so wie einerlei Krümmung in der untern Hälfte der Bogen; die Krümmungen der oberen Bogen sind aber verschieden, wegen der ungleichen Spannungen der Rippen.

Die Zusammenstellung der Rippen ist hier in der Art bewirkt, dass nicht nur aus der Mitte des Gewölbes ein strahlender Stern hervorgeht, sondern auch aus jedem Gewölbeanfange strahlt ein Stern von unten nach oben.

Das ganze Gewölbe besteht aus Schnittsteinen, sowohl die Rippen, als auch die Gewölbdecke. In der untern Hälfte des Gewölbes wird die Gewölbdecke zwischen den Rippen von den Rippensteinen selbst gebildet; in den oberen Gewölbtheilen bestehen aber die Rippen für sich, so wie auch die dazwischen liegende Gewölbdecke, welche aus dünnen Steinplatten construirt ist, die entweder mit centralen Lagerfugen auf den Vorsprung e Fig. 431 der Rippen gelegt werden, oder auch ohne centrale Lagerfugen zu haben, stumpf an einander gelegt werden, wie bei A und B Fig. 430 zu ersehen ist.

Bei dieser Construction treten die Rippensteine nicht allein im Innern des Gewölbes vor der Gewölbdecke hervor, sondern auch oberhalb des Gewölbes geschieht eben dasselbe, wie aus Fig. 429 zu ersehen ist, welche Figur eine gerade Ansicht dieses Gewölbes von vorn vorstellt.

In dem Gewölbeanfange kommen die Rippen so nahe zu liegen, dass deren Profile nur unvollständig hergestellt werden können. Aus diesem Grunde haben wir hier eine Blätterreihe angebracht, aus denen die Rippen da erst hervortreten, wo die Glieder der Profilirung schon vollständiger dargestellt werden

können. Es ist dies ein Princip, welches in England mitunter angewendet worden ist.

Da die zwei Firstrippen horizontal sind, so müssen die einzelnen Steine derselben den Fugenschnitt des scheitrechten Gewölbes erhalten. Der gemeinschaftliche Schlussstein *C* greift mit seinen acht Enden in die beiden Diagonalrippen, und in die beiden rechtwinklig sich kreuzenden Firstrippen. Zur Vermehrung der Festigkeit dieses Steins, werden die acht spitzen Zwickel der Gewölbdecke zwischen den Enden desselben von diesem Steine mit eingenommen. Dasselbe geschieht von den kleinern Schlusssteinen, welche die Kronen der Mittelrippen mit den kurzen Rippen verbinden. Ein solcher kleinerer Schlussstein hat alsdann die Form *D* Fig 429, wogegen eben derselbe Stein die Form *E* Fig. 429 erhält, wenn der Stein nur die entsprechenden Enden der aufzunehmenden Rippen enthält.

In dieser Figur hat man vorn eine gerade Ansicht der Transversalrippe F *G*, deren Kreisbogen in den unteren Theilen die Punkte *J* und *L* zu Mittelpunkten haben, in den oberen Theilen aber die Punkte *H* und *K*.

Die punktirten Linien *a b*, *b c* Figur 430 bezeichnen den mittleren horizontalen Querdurchschnitt dieses Gewölbes. — Figur 431 zeigt das Profil der Diagonalrippe, welches hervorgeht, wenn man dieselbe central schneidet. Der Deutlichkeit wegen haben wir dies Profil in den doppelten Maassen des beistehenden Maassstabes gezeichnet.

§. 149.

Fig. 433 Tafel XXXIV ist der Grundriss eines sehr reich construirten Liernengewölbes, dessen verticaler Querdurchschnitt nach der Linie *A' D'* genommen, in der Figur 432 vorgestellt wird. Die Structur dieses Gewölbes haben wir nach dem Gewölbe der St. Georgs-Kapelle in Windsor gebildet. Dies Gewölbe besteht aus drei Theilen, welche durch die zwei horizontalen Firstrippen *J' K'* und *L' M'* von einander geschieden werden. Der mittlere Theil, nämlich *J' K' M' L'* ist ein reich verziertes Tonnengewölbe; die beiden anderen Theile *N' J' K' O'* und *L' M' P' Q'* sind dagegen Liernengewölbe mit horizontalen Firstrippen A' B', *E' F'*, *C' D'* und *G' H'*.

Achtes Kapitel.

Von den Fächergewölben.

§. 150.

In dem vorigen Kapitel zeigten wir, wie der mittlere horizontale Querschnitt des gerippten Kreuzgewölbes in den verschiedenen Perioden nach und nach sich veränderte. Wie derselbe, folgerecht dem Princip des römischen Kreuzgewölbes, anfänglich nach dem rechtwinkligen Parallelogramm construirt wurde; wie man später zwar die Stellung der Rippen veränderte, dessen ungeachtet aber den rechtwinkligen Querschnitt noch beizubehalten suchte, und erst in der spätern Periode durch Einziehung der Diagonalrippe dem horizontalen mittlern Querschnitt die Form eines gleichseitigen Polygons gab. In dieser letztern Periode ist nun der Uebergang zum Fächergewölbe zu suchen; denn es durfte der horizontale Querschnitt nur in sofern verändert werden, dass derselbe nicht mehr die Form eines gleichseitigen Polygons hatte, sondern die Form des Kreisbogenstücks, weil beim Fächergewölbe alle horizontalen Querschnitte die Form des Kreisbogenstücks oder des vollständigen Kreisbogens haben.

Die Verschiedenheit zwischen dem gerippten Stern- oder Liernengewölbe und dem Fächergewölbe besteht überhaupt in der veränderten Form des horizontalen Querschnitts, und in der verschiedenen Construction der Rippen. Beim Liernengewölbe erhielten die Rippen meistentheils verschiedene Krümmungen, damit ihre Kronen zum Schluss gebracht werden konnten, und die obern kurzen Rippen wurden in einer gebrochenen Richtung angeordnet, wodurch die strahlenden Sterne ihre auslaufenden Spitzen erhielten. Beim Fächergewölbe haben dagegen alle Rippen dieselbe Krümmung, welche in ihrer obern Begegnung anstatt der kurzen Rippen durch kreisrunde horizontal laufende Rippen unter einander verbunden werden.

Ausserdem findet in der Stellung der Rippen gegen die Gewölbeoberfläche noch der Unterschied Statt, dass beim Fächergewölbe alle Rippen eine normale Richtung gegen die Oberfläche des Gewölbes haben, wogegen beim Liernengewölbe sämmtliche Rippen eine lothrechte Stellung erhielten, wodurch den obern kurzen Rippen eine schiefe Richtung gegen die Oberfläche des Gewölbes gegeben wurde.

§. 151.

Die Structur des Fächergewölbes ist aus den Figuren 440 bis 445 Tafel XXXV. deutlich zu erkennen. Fig. 440 stellt den Grundriss eines Fächergewölbes ohne Rippen vor, Fig. 441 ist ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses, und Fig. 442 ein verticaler Durchschnitt nach der Linie C′ D′.

Die obersten kreisrunden Steinschichten dieses Gewölbes berühren sich, und lassen zwischen je vier Kreisschichten einen Raum *E* unbedeckt, welcher entweder horizontal eingewölbt wird, wie hier in Figur 440 angenommen worden ist, oder welcher als Fortsetzung der untern Gewölbfläche gekrümmt construirt wird, wie in Fig. 443 geschehen ist.

Das in Fig. 440 dargestellte Gewölbe heisst auch Normännisches Gewölbe.

Die Figuren 443 bis 445 zeigen die Construction des gerippten Fächergewölbes; Figur 443 ist der Grundriss desselben, Fig. 444 ein verticaler Querschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses, und Fig. 445 ein anderer verticaler Querschnitt nach der Linie C′ D′.

Die Anordnung der Lagerfugen ist im Grundrisse und in den Durchschnitten vollständig angegeben worden; die Stossfugen haben wir dagegen bloss im Grundrisse Figur 443 vollständig eingezeichnet, in Fig. 445 aber ganz fortgelassen, damit die Zeichnung nicht zu viel getrennte Linien enthielte.

§. 152.

In Figur 434 haben wir noch die Construction eines runden Gewölbes gegeben, dessen Structur mit dem Normännischen Gewölbe völlig übereinstimmt. Fig. 434 ist der Grundriss, und der verticale Querschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses hat entweder die Form von Fig. 435, oder von Fig. 436.

Diese Gewölbeconstruction dient zur Ueberwölbung eines runden Saals, in dessen Mitte eine Säule zu stehen kommt, um welche die kreisrunden Steinschichten ringsherum laufen. Die Achse der Säule ist Achse des Gewölbes, in welcher die Richtungen der ringsherum laufenden Lagerfugen sich schneiden; jede Lagerfuge hat ihren besondern Schneidungspunkt in dieser Achse, und es liegt derselbe entweder oberhalb des Gewölbes, oder unterhalb desselben. Betrachtet man z. B. die dritte Lagerfuge, welche im Durchschnitt Fig. 435 mit *b r* bezeichnet ist, so wird man bemerken, dass die Achse *o c* von dieser Fuge in dem Punkte *c* geschnitten wird, und es gilt dieser Punkt als Spitze eines normalen Kegels, dessen Radius die Linie *a b* ist, und dessen Höhe *a c* ist. Diese Lagerfuge bildet sonach einen abgekürzten Kegelmantel, dessen Seite die Linie *b r* ist.

Um daher die Lagerfugen dieses Gewölbes auszutragen, darf man nur nach dem Princip, welches in dem Kapitel von den Kugelgewölben befolgt wurde, verfahren.

In Fig. 437 haben wir die Lagerfuge der dritten Steinschicht ausgetragen; Fig. 438 stellt einen Anfänger vor, welcher in der äussersten Steinschicht des Gewölbes sich befindet, und endlich Fig. 439 einen Stein der nächstfolgenden Schicht.

Neuntes Kapitel.

Vom Kernbogen und dem sphärischen Strebebogen.

§. 153.

Wenn die innere Gewölbefläche eines Bogens aus mehreren verschiedenen Flächen besteht, welche nach irgend einem System in Zusammenhang gebracht worden sind, so nennt man diesen Bogen einen Kernbogen. Das System des Zusammenhanges der verschiedenen Wölbungsflächen ist aber so unbestimmt, und der Bedingungen, nach welchen jene Flächen erzeugt werden können, sind so viel, dass es eine unzählige Menge von möglichen Kernbogen giebt, von denen wir hier nur die wichtigsten und brauchbarsten betrachten wollen.

Tafel XXXVI. enthält vier verschiedene Kernbogen, deren man sich zur Ueberwölbung der Fensteröffnungen, der Thür- oder Thorwegsöffnungen bedient. Figur 447 ist der Grundriss und Fig. 446 die gerade Ansicht eines Fensterbogens mit zwei verschiedenen Wölbungsflächen, von welchen die eine cylindrisch, die andere aber kegelförmig ist.

Fig. 448 zeigt die Form des Schlusssteins, Fig. 449 die des zunächst folgenden Steins, und Fig. 450 stellt den Anfänger vor. Die Figur *a b c d e n* in Fig. 447 ist die ausgetragene Lagerfuge des Schlusssteins. Um diese Lagerfuge auszutragen, mache man die Länge *a b* Fig. 447 gleich der Länge *g k* Fig. 446, ziehe *b c* normal auf *a b*, mache *n e* Fig. 447 gleich *g h* Fig. 446 und *c d* gleich *k i*, die hervorgehende Figur *a b c d e n* ist die verlangte Lagerfuge. In derselben Weise werden die übrigen Lagerfugen ausgetragen.

Fig. 452 ist der Grundriss und Fig. 451 eine gerade Ansicht eines Fensterbogens, welcher von dem vorigen sich nur darin unterscheidet, dass hier die Richtungslinie der Wölbung ein voller

Halbkreis ist, wogegen in dem vorigen Bogen die Richtungslinie der Wölbungsfläche ein Kreisbogenstück war. Figur 453 zeigt den Anfängerstein, und Figur 454 den Schlussstein. Die Figur *a b c d e n* ist die ausgetragene Lagerfuge des Schlusssteins.

Fig. 456 ist der Grundriss und Fig. 455 die hintere Ansicht eines Bogens, welcher vorn in der Mauer eine cylindrische Wölbungsfläche hat, in dem hintern Theile der Mauer aber anstatt der runden Wölbung scheitrecht eingewölbt worden ist, damit eine rechtwinklige Vertiefung für die Thür oder den Thorwegsflügel gebildet werde.

Fig. 457 zeigt den Anfängerstein und Fig. 458 den Schlussstein. *A* ist die ausgetragene Schablone der Lagerfuge des Schlusssteins.

Die Figuren 459 und 460 zeigen eine andere Construction des Kernbogens. Fig. 460 ist der Grundriss und Fig. 459 die hintere Ansicht. Der Wölbungsbogen in der Mauer ist nach vorn cylindrisch im vollen Zirkel construirt, und in derselben Weise ist der Falz für den Anschlag gewölbt; der hintere Wölbungsbogen ist aber nach einem eigenthümlichen Princip gebildet. Es ist nämlich angenommen worden, dass die Durchschnittslinien *a e* und $l e_2$, in welchen die hintere obere Wölbungsfläche von den lothrechten Abschrägungen, deren erste Projection in Fig. 460 mit $e' a'$ und $g' l'$ bezeichnet sind, geschnitten wird, Kreisbogen vorstellen, welche mit dem Halbkreise $a^0 n'' l^0$ Fig. 459 einerlei Radius haben.

Wenn man daher die Länge $a' m'$ Figur 460 gleich $a' w'$ macht, aus dem Punkte m' den Kreisbogen $a' (e)$ beschreibt, und in dem Punkte e' die Linie $e' (e)$ normal auf $a' e'$ construirt, so stellt der Kreisbogen $a' (e)$ die in die erste Projectionsebene herabgeschlagene Durchschnittslinie vor, in welcher die hintere obere Wölbungsfläche von der lothrechten Abschrägung auf dieser Seite geschnitten wird.

Um nun die zweite Projection $a^0 e''$ Fig. 459 dieser Durchschnittslinie zu erhalten, errichte man in beliebigen Punkten b', c', d' der Linie $a' e'$ Fig. 460 Normalen $b' (b)$, $c' (c)$, $d' (d)$ auf $a' e'$, projicire den Punkt a' nach a^0, b' nach b^0, c' nach c^0, d' nach d^0 und e' nach e^0 Fig. 459, errichte in den erhaltenen

Punkten Normalen auf der Linie $c^0 g^0$, und mache $b^0 b''$ gleich b' (b), $c^0 c''$ gleich c' (c), $d^0 d''$ gleich d' (d) und $e^0 e''$ gleich e' (e): die Punkte a^0, b'', c'', d'', e'' sind dann Punkte der zweiten Projection jener Durchschnittslinie. In derselben Weise werden die Punkte $l^0 k'' i'' h'' e_2''$ auf der andern Seite des Bogens erhalten.

Um die äussere Begrenzung der obern hintern Wölbungsfläche zu erhalten, nehme man den Punkt t'' Fig. 459 beliebig an, und construire durch die drei Punkte e'', t'', e_2'' den Kreisbogen $e'' t'' e_2''$; derselbe bildet die hintere Begrenzung der obern Wölbungsfläche. Um für diese Wölbungsfläche noch andere Bestimmungsstücke zu erhalten, construire man noch die drei Kreisbogen $d'' s'' h''$, $c'' r'' i''$ und $b'' o'' k''$. Diese Kreisbogen zu construiren, darf man nur die Punkte s'', r'' und o'' bestimmen, indem man die Längen $f' x'$ Fig. 460 gleich $n'' t''$ Fig. 459 macht, und die gerade Linie $w' x'$ zieht; wenn man ferner die Linien $b' k'$, $c' i'$, $d' h'$ parallel mit $e' g'$ zieht, und $n'' o''$ Fig. 459 gleich $v' v_2'$ Fig. 460 macht, $n'' r'' = z' z_2'$ und $n'' s'' = y' y_2'$: dadurch werden die Punkte o'', r'', s'' bestimmt, durch welche die drei Kreisbogen $d'' s'' h''$, $c'' r'' i''$ und $b'' o'' k''$ nun construirt werden können.

Die hintere obere Wölbungsfläche wird nun in der Art gebildet, dass sie durch diese drei zuletzt construirten Kreisbogen, durch den Halbkreis $a^0 n'' l^0$ und durch den Kreisbogen $e'' t'' e_2''$ geht.

In Fig 461 haben wir den Anfänger dieses Kernbogens dargestellt; in Fig. 462 den nächsten Stein über dem Anfänger, und in Fig. 463 den Schlussstein.

Die mit A, B, C und D bezeichneten Figuren sind die ausgetragenen Lagerfugen dieses Bogens; A ist die Lagerfuge des Schlusssteins, B die des zweiten Steins von oben, C die Lagerfuge des dritten Steins, und endlich D die obere Lagerfuge des Anfängers.

§. 154.

Wir kommen zu dem sphärischen Strebebogen. — Man denke ein Gewölbe von doppelter Krümmung, dessen innere Wölbungsfläche eine beliebige Umdrehungsfläche ist, und welches in seiner Structur nicht zur vollständigen Ausbildung gebracht worden ist, um einen Raum vollständig zu überdecken, sondern durch

Verticalebenen oder Flächen in der Weise abgestutzt wird, dass die von unten beginnende Wölbung in einer gewissen Höhe ihre Grenze findet, ohne zum vollständigen Schluss zu gelangen; ein solches Gewölbe heisst Strebewölbung oder Strebebogen. Die Strebewölbung ist sphärisch, sphäroidisch, ellipsoidisch u. s. f., je nachdem dieselbe aus der Abstutzung eines sphärischen, sphäroidischen oder ellipsoidischen Gewölbes hervorgegangen ist.

Diese Strebewölbung hat in der Mitte immer eine grosse Oeffnung, welche durch andere Constructionstheile überdeckt wird; in der Regel durch ein Kuppelgewölbe, welches entweder unmittelbar auf der Strebewölbung ruht, oder es wird auf der Strebewölbung zunächst ein runder Aufbau, ein sogenannter Tambour, lothrecht aufgeführt, und dieser dann vermittelst eines Kuppelgewölbes geschlossen. Die obere Oeffnung in der Strebewölbung ist entweder kreisförmig, oder sie bildet ein reguläres Vieleck, welches eine gerade Anzahl Seiten hat.

§. 155.

Fig. 464. Taf. XXXVII ist der vierte Theil des Grundrisres eines sphärischen Strebebogens auf dem quadraten Raume, dessen Bestimmung dahin geht, als Basis eines runden Thurmes zu dienen, dessen innere Richtungslinie der Kreisbogen $E K F$ ist, dessen erste Projection in Figur 464 mit $E' K' F'$ bezeichnet ist.

Fig. 465 ist ein verticaler Durchschnitt nach der Richtung $A' B'$ des Grundrisses; Fig. 466 ist ein anderer verticaler Durchschnitt nach der Richtung der Diagonale $A' C'$, und Fig. 467 eine Ansicht nach der Richtung der Diagonale. In Figur 468 haben wir noch den Anfängerstein, der in Figur 464 mit $H' G' J' R' X' Y'$ bezeichnet ist, in der schiefen Projection dargestellt.

Die Zwickelwölbung, welche in der krummen Linie $J' S'$ Fig. 464 beginnt, hat zur innern Wölbungsfläche eine Kugelfläche, deren Radius die Länge $A' R'$ Fig. 464 oder $M_2 R_2$ Figur 466 ist.

§. 156.

Die Figuren 469 und 470 zeigen eine andere Construction des sphärischen Strebebogens auf dem quadraten Raume. Fi-

gur 470 ist die Hälfte des Grundrisses, und Fig. 469 ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses. Die Zwickelwölbung zwischen den Gurtbogen ist ebenfalls kugelförmig, wie im vorigen Beispiele; sie beginnt aber nicht in einer Linie, sondern in einem Punkte. Im Uebrigen sind alle Constructionen dieser sphärischen Strebebogen dieselben, wie beim Kuppelgewölbe über dem quadraten Raume, und es kann deshalb eine weitere Beschreibung der Structur dieser Strebewölbung hier übergangen werden.

§. 157.

Zum Schluss dieses Kapitels haben wir auf Tafel XXXVIII in Fig. 471, Fig. 472 und Fig. 473 die Construction eines sphärischen Nieschengewölbes dargestellt. Fig. 472 ist der Grundriss, Fig. 471 eine gerade Ansicht von vorn, und Fig. 473 ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A′ B′ des Grundrisses.

Dies Nieschengewölbe hat einen Kern *D*, wie die conische Kernwölbung, an welchem die centralen Lagerfugen ihre Begrenzung finden. Die innere Wölbungsfläche ist aber nicht kegelartig, sondern kugelförmig.

Sämmtliche Lagerfugen schneiden die innere Kugelfläche in grössten Kreisbogen, da ihre Richtung durch den Mittelpunkt der Kugel geht; aber die Stossfugen schneiden die Kugelfläche in kleineren Kreisen, welche mit der äussern Stirnfläche parallel laufen. In Fig. 474 haben wir den Anfänger *E* dargestellt, in Fig. 475 den Schlussstein *F*, und in Fig. 476 den Kern *D*.

Zehntes Kapitel.

Von dem gegenseitigen Durchdringen zweier Gewölbe von verschiedenen Höhen.

§. 158.

Auf Taf. XXXIX haben wir das Princip der Anordnung des Fugenschnitts dargestellt, wenn ein grösseres Tonnengewölbe von einem kleineren auf der einen Seite in normaler Richtung durchdrungen wird. Fig. 478 ist der Grundriss dieser Construction, Fig. 477 ein verticaler Durchschnitt nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses, und Fig. 479 ein anderer verticaler Durchschnitt nach der Linie $C' D'$.

Wir haben hier vorausgesetzt, dass die lichte Weite eines jeden Tonnengewölbes gegeben sei, und dass der Rücken der Tonnengewölbe nicht rund, sondern gebrochen angeordnet werden solle.

Zur Erreichung eines soliden und festen Steinverbandes ist es nothwendig, dass die horizontalen Fugen des grössern Tonnengewölbes, in welchen die innere Wölbungsfläche von den Lagerfugen geschnitten wird, in der Weise angeordnet werden, dass sie in der Nähe des kleineren Gewölbes ihre horizontale Richtung ändern, und in die Centralfugen des kleineren Tonnengewölbes übergehen. Es ist dies deutlich aus Fig. 479 zu ersehen, wo die horizontalen Leibungsfugen $h''' v_2'''$ und $k''' l'''$ in den Punkten v_2''' und l''' ihre Richtung ändern, indem sie von hier aus die Richtung durch den Mittelpunkt M''' des Hauptes vom kleineren Tonnengewölbe nehmen. Die Punkte v_2''' und l''' dürfen nicht beliebig angenommen werden, insofern eines Theils die Fugeneintheilung in dem Haupte des kleineren Tonnengewölbes von der Wahl jener Punkte abhängig ist, und diese Fugeneintheilung, wegen der Symmetrie, stets in der Weise geschehen muss, dass die Bogen $a''' p'''$, $p''' q'''$, $q''' r'''$, $r''' w'''$ u. s. f. gleich

gross werden; anderen Theils die Längen $v_2''' p'''$ und $l''' q'''$ die Gewölbestärke des kleineren Gewölbes, welche dasselbe in den Punkten p''' und q''' hat, repräsentiren. Um nun diesen Bedingungen zu genügen, muss man mehrere Eintheilungen der Grundbogen $o'' x_2'' a''$ Fig. 477 und $a''' b''' c'''$ Fig. 479 versuchen, und sehen, welche von diesen jenen Bedingungen am besten entspricht.

Ist die Eintheilung der beiden Grundbogen festgesetzt, so ermittele man die Curve $a' b' c'$ Figur 478, die erste Projection derjenigen krummen Linie, in welcher die beiden cylindrischen Wölbungsflächen sich durchdringen. Man erhält einen Punkt p' dieser Curve, wenn man aus der gegebenen dritten Projection p''' die zweite Projection p'' des Punktes p ermittelt, indem man die Linie $p''' E$ parallel mit $a''' y'''$ zieht, HF gleich HE macht, und durch den Punkt F die gerade Linie $\beta'' p''$ parallel mit $\delta'' a''$ construirt: der Punkt p'', in welchem der Grundbogen $o'' x_2'' a''$ des grössern Tonnengewölbes von jener Linie geschnitten wird, ist die zweite Projection des Punktes p. Man hat sonach nur die einfache Aufgabe der Projectionslehre zu lösen, aus der gegebenen dritten Projection p''' eines Punktes p, und aus der zweiten Projection p'' dieses Punktes, die erste Projection p' zu finden. Man löst diese Aufgabe, wenn man die Linie $p''' z'''$ Figur 279 normal auf $a''' c'''$ construirt, und durch diesen Punkt die gerade Linie $\beta' p'$ parallel mit der Achse $B' f'$ des kleinern Tonnengewölbes, so wie durch den Punkt p'' die gerade Linie $p'' p'$ parallel mit der Achse $C' D'$ des grössern Tonnengewölbes zieht: der Durchschnittspunkt p' dieser beiden Linien ist die gesuchte erste Projection p' des Punktes p der Durchschnittslinie beider Gewölbflächen. In derselben Weise werden die ersten Projectionen q', r', w', b' u. s. f. der Punkte q, r, w und b jener Durchschnittslinie ermittelt.

Nachdem diese Durchschnittslinie bestimmt worden ist, ordne man in der Wölbungsfläche des grösseren Tonnengewölbes das Haupt des kleineren Gewölbes in demselben Princip an, wie beim Haupt in der geraden lothrechten Mauer, und ermittele die erste Projection dieses Fugenschnitts; dadurch erhält man die ersten Projectionen der einzelnen Steine, welche den gegenseitigen Verband des kleineren Gewölbes mit dem grösseren vermitteln.

Auf der einen Seite des kleineren Gewölbes haben wir in Fig. 478 die ersten Projectionen jener Steine vollständig angegeben; und es bezeichnet die Figur $a_2' b_2' v_2' p' c_2' d_2'$ die erste Projection des Anfängers, die Figur $g_2' e_2' i_2' l' q'$ die erste Projection des zweiten Steins, $l_2' h_2' v' s' r'$ die des dritten Steins, $o_2' m_2' t' x' w'$ die des vierten Steins, und endlich $r_2' \varphi' \varrho' x' t_2' s_2'$ die erste Projection des Schlusssteins.

$p_2' w' x' t_2' u_2' q_2'$ ist die erste Projection von den zwei verschiedenen inneren Wölbungsflächen des Schlusssteins P, $p_2' w' x' \varrho' \varphi'$ ist die erste Projection der einen Lagerfuge, und $q_2' u_2' t_2' s_2' r_2'$ die erste Projection der zweiten Lagerfuge des Schlusssteins.

Fig. 480 zeigt die Form des Anfängers O, dessen erste Projection in Fig. 478 mit O' bezeichnet worden ist. An diesem Steine befinden sich auf der einen Seite die Leibung und die Lagerfuge des kleineren Tonnengewölbes, auf der andern Seite aber die Leibung und die Lagerfuge des grösseren Gewölbes. K ist die Schablone der Stossfuge im grössern, und L die Schablone der Stossfuge im kleineren Tonnengewölbe.

Fig. 481 und Fig. 482 zeigen die Form des Schlusssteins P, welcher den Verband des kleineren Gewölbes mit dem grösseren vermittelt; erstere Figur ist eine Ansicht von unten, letztere eine Ansicht von oben. E ist die ausgetragene Lagerfuge dieses Steins, und F ist die Schablone der Stirnfläche oder der Stossfuge.

Um Figur 481 zu zeichnen, construire man wie folgt:

Man ziehe die gerade Linie $w_2' f'$ unter 45° Neigung gegen die Grundlinie, und $w_2' w_2$ lothrecht, beschreibe aus dem Punkte w_2' als Mittelpunkt den Kreisbogen $p_2 q_2$ mit dem Radius $M''' b'''$ Fig. 479 des kleinern Tonnengewölbes, und mache $w_2 p_2$ gleich $w_2 q_2$ gleich $b''' w'''$ Fig. 479.

Durch den Punkt q_2 ziehe man die Linie $w_2' r_2$, mache die Länge $q_2 r_2$ gleich lang mit $w''' \varrho'''$ Fig. 479, und construire die geraden Linien $p_2 w$, $q_2 u_2$ und $r_2 s_2$ parallel mit $w_2' f'$. Sodann mache man die Längen $p_2 w$ und $q_2 u_2$ gleich lang mit $p_2' w'$ Figur 478, $w_2 b$ gleich $w_2' b'$ und $r_2 s_2$ gleich $r_2' s_2'$; ziehe $s_2 \varrho$ parallel mit der angenommenen Grundlinie und mache sie gleich lang mit $s_2' \varrho'$ Fig. 479, verbinde endlich noch die drei Punkte

w, b, u_2 durch eine entsprechende krumme Linie: so bedarf man zur Vollendung des Steins nur noch der Punkte x und t_2.

Diese zwei Punkte ermittele man aus den zugehörigen Coordinaten, indem man die Länge $w_2' f'$ Fig. 481 gleich lang mit $w_2' f'$ Fig. 478 macht, die gerade Linie $x' t_2'$ in der schiefen Projection normal auf $w_2' f'$ construirt, jede der Längen $x' f'$ und $f' t_2'$ gleich lang macht mit $x' f'$ Fig. 478, sodann in den Punkten x' und t_2' die verticalen Linien $x' x$ und $t_2' t_2$ construirt, und diese mit $f^0 f'''$ Fig. 477 gleich lang macht: dadurch werden die Punkte x und t_2 ermittelt, welche man nur mit den Punkten ϱ und s_2 durch gerade Linien, mit den Punkten w und u_2 aber durch entsprechende Bogen verbinden darf, um die Zeichnung zu vollenden.

Fig. 483 und Fig. 484 zeigen die Form des Steins R, welcher zur Seite des Schlusssteins P sich befindet; erstere Figur ist eine Ansicht von unten, letztere eine Ansicht von oben. I ist die ausgetragene untere Lagerfuge dieses Steins, G die der Stirnfläche oder der Stossfuge, und H die der verticalen Längenfuge, deren dritte Projection die Linie $s''' \sigma'''$ Fig. 479 vorstellt. Es hat nämlich der Stein R auf der Seite, welche vom Schlussstein abgewendet ist, zweierlei Fugen, eine centrale Lagerfuge, deren dritte Projection die Linie $r''' s'''$ Fig. 479 ist, und eine verticale Stossfuge, deren dritte Projection $s''' \sigma'''$ ist.

§. 159.

Die Figuren auf Tafel XXXX. enthalten dieselbe Gewölbeconstruction, von welcher im vorigen Paragraphen die Rede war. Die Structur dieses Gewölbes unterscheidet sich von der des vorigen Gewölbes nur darin, dass die beiden sich durchdringenden Gewölbe keinen gebrochenen, sondern einen runden Rücken haben, und die Anordnung des Fugenschnitts der Steine, welche in der Gegend des Durchdringens den gegenseitigen Verband beider Gewölbe vermitteln, nach einem andern Princip durchgeführt worden ist, als in der vorigen Gewölbeconstruction geschah.

Fig. 485 ist der Grundriss, Fig. 486 ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A' B', und Fig. 487 ein zweiter verticaler Durchschnitt nach der Richtung C' D' Fig. 485.

Diese Figuren zu construiren, setzen wir voraus, dass der

Grundbogen $Q'' R'' a''$ Figur 486 des grössern Tonnengewölbes gegeben sei, so wie auch der Grundbogen $a''' h''' i'''$ Fig. 487 des kleinern Gewölbes.

Um nun diese Figuren zu zeichnen, construire man in folgender Weise:

Man theile jeden der Grundbogen $Q'' R'' a''$ Figur 486 und $a''' h''' i'''$ Fig. 487 der beiden Tonnengewölbe in eine ungerade Anzahl gleicher Theile, dadurch erhält man die Punkte F'', G'', H'', I'', R'' u. s. f. Fig. 486, und die Punkte b''', c''', d''', e''', f''', g''', h''' u. s. f. Fig. 487. Diese Eintheilung der Grundbogen muss aber in der Art geschehen, dass die unteren horizontalen Leibungsfugen des grösseren Tonnengewölbes in der Nähe des kleineren in die Centralfugen des letzteren übergehen, damit die Lagerfugen beider Gewölbe in einen gehörigen Zusammenhang treten, was zur Erreichung eines soliden Verbandes durchaus nothwendig ist. So behält z. B. die horizontale Leibungsfuge, welche durch den Punkt F'' Fig. 486 geht, ihre Richtung bis zum Punkte z; von hier an geht sie aber durch den Punkt b, und wird hier sonach Centralfuge des kleinern Tonnengewölbes. Man sieht dies am deutlichsten in Fig. 487, wo die gerade Linie $u_3''' z'''$ die dritte Projection jener horizontalen Leibungsfuge, und z''' die dritte Projection des Punktes z ist, woselbst die Fuge ihre horizontale Richtung verlässt, um durch b''' nach dem Mittelpunkte M''' hin ihre Richtung zu nehmen. Bei dieser Eintheilung der beiden Grundbogen muss auch noch darauf Rücksicht genommen werden, dass der Bogen $I'' h_2''$ Fig. 486 nicht zu klein werde, damit der Stein, welchem dieser Bogen zugehört, und der als Widerlager des auf ihm ruhenden Gewölbes dient, nicht zu schwach werde.

2. Bestimme man die Form des verticalen Hauptes vom kleinern Tonnengewölbe. Die Fig. $a''' V''' W''' S''' T''' U''' I''' Z'''$ Fig. 487 stellt dies Haupt vor, und $S''' U'''$ den runden Rücken oder Oberbogen dieses Gewölbes. Mit Hülfe dieser Figur ordne man den Fugenschnitt derjenigen Steine an, welche in der Gegend des Durchdringens den gegenseitigen Verband vermitteln.

3. Die Punkte a''', b''', c''', d''', e''' u. s. f. Fig. 487 stellen die dritten Projectionen von den Punkten a, b, c, d u. s. f. vor,

welche in derjenigen krummen Linie sich befinden, in welcher die beiden inneren Gewölbflächen sich schneiden; und es muss sonach die zweite Projection dieser Punkte in dem Kreisbogen $a''\,I''$ Fig. 486 sich befinden Man erhält daher die zweite Projection dieser Punkte, wenn man die Punkte b''', c''', d''', e''', f''' und g''' Figur 487 auf die Linie $N\,P$ projicirt, von hier die erhaltenen Punkte vermittelst Kreisbogen auf die Linie $N\,O$ trägt, und durch die sich ergebenden Punkte gerade Linien parallel mit $B''\,a''$ bis an den Kreisbogen $a''\,R''$ Figur 486 construirt: die Punkte b'', c'' u. s. f., in welchen der Kreisbogen $a''\,R''$ von jenen Parallelen geschnitten wird, sind die verlangten Punkte, und die parallel mit $a''\,B''$ gezogenen Linien stellen die zweite Projection der horizontalen Leibungsfugen des kleinern Tonnengewölbes vor.

4. Bestimme man die erste Projection jener Leibungsfugen; dadurch erhält man die Punkte a', b', c', d' u. s. f., und damit die Punkte, durch welche die Curve $a'\,b'\,c'\,d'\,e'\,f'\,g'\,h'\,i'$ Fig. 485 geht, welche die erste Projection der krummen Linie vorstellt, in welcher beide Gewölbflächen sich durchdringen.

5. Schreite man zur Anordnung des Fugenschnitts des gekrümmten Hauptes vom kleinern Gewölbe. Wir haben hier in dieser Gewölbeconstruction die Anordnung so getroffen, dass die sieben mittlern obern Steine des kleinern Gewölbes bis an die Lagerfuge $I''\,K''$ Fig. 486 des grössern Gewölbes hinaufreichen, und hier das Widerlager der horizontalen Steinschicht $I''\,R''\,K_2''\,K''$ bilden. Diese Steine müssen daher ausser den Lagerfugen für das kleinere Gewölbe auch noch eine Lagerfuge für das grössere Gewölbe erhalten. Mit der untern Kante dieser Lagerfuge stossen diese Steine an die Leibungsfuge $p\,q$, mit der obern Kante aber an die durch den Punkt K'' Fig. 486 gerichteten Fuge des Oberbogens im grössern Gewölbe, deren dritte Projection in Figur 487 durch $k'''\,o'''$ bezeichnet wird. Aus diesem Grunde muss die Entfernung der Linie $k'''\,o'''$ von $C'''\,D'''$ gleich der Höhe des Punktes K'' über der Linie $A''\,B''$ Fig. 486 sein.

Die beiden Lagerfugen des Schlusssteins und des zunächst folgenden Steins, welche als centrale Lager im kleinern Gewölbe dienen, reichen ebenfalls bis an die Linie $k\,o$ heran, deren dritte

Projection die Linie $k'''\ o'''$ ist. Aber bei den zwei folgenden Steinen würden diese Lagerfugen in den Punkten l und k zu spitze Winkel bilden, weshalb wir uns veranlasst fanden, diese Lagerfugen zu brechen, und zwar am dritten Steine in eine Centralfuge $e\,r$, deren dritte Projection mit $e'''\ r'''$ bezeichnet ist, und in eine Verticalfuge, deren dritte Projection $r'''\ l'''$ ist. An diesem dritten Steine ist sonach $e'''\ f'''\ s'''\ r'''$ die Projection des nach der innern Wölbungsfläche des grössern Gewölbes gekrümmten Hauptes, und $r'''\ l'''\ m'''\ s'''$ ist die dritte Projection der Lagerfuge im grössern Tonnengewölbe.

Die untere Lagerfuge des vierten Steins, welche derselbe im kleineren Gewölbe hat, ist in die zwei Theile gebrochen, deren dritte Projection $d'''\ S'''$ und $S'''\ k'''$ vorstellen; und es ist daher die Figur $d'''\ e'''\ r'''\ g_2'''\ S'''$ die Projection des gekrümmten schiefen Hauptes, und $g_2'''\ k'''\ l'''\ r'''$ die dritte Projection der Lagerfuge dieses Steins im grössern Gewölbe.

Am dritten Stein von unten ist $c'''\ d'''\ S'''\ y'''\ v'''$ die Projection des gekrümmten schiefen Hauptes, und $S'''\ x'''\ w'''\ y'''$ die Projection der Lagerfuge im grössern Tonnengewölbe.

Am zweiten Stein von unten ist $b'''\ c'''\ v'''\ a_2'''\ z'''$ die Projection des schiefen Hauptes, und $v'''\ y'''\ b_2'''\ a_2'''$ die Projection der Lagerfuge für das grössere Gewölbe.

Am Anfänger ist $a'''\ b'''\ z'''\ d_2'''\ c_2'''$ die Projection des gekrümmten Hauptes, und $z'''\ z_3'''\ e_2'''\ d_2'''$ die Projection der Lagerfuge im grössern Gewölbe.

Nachdem der Fugenschnitt des gekrümmten Hauptes des kleinern Gewölbes angeordnet worden ist, kann die erste Projection von jedem einzelnen Steine in Fig. 485 leicht gefunden werden; denn man darf nur aus der bekannten dritten und zweiten Projection irgend eines Punktes dessen erste Projection ermitteln.

In Fig. 485 bezeichnet $p_3'\ d_2'\ z'\ b'\ m_3'\ o_3'$ die erste Projection des Anfängers, $e_3'\ a_2'\ v'\ c'\ c_3'$ die erste Projection des zweiten Steins, $b_3'\ y'\ S'\ d'\ a_3'$ die des dritten Steins, $z_2'\ g_2'\ r'\ e'\ x_2'$ die des vierten Steins, $w_2'\ r'\ s'\ f'\ u_2'$ die des fünften Steins, $t_2'\ o_2'\ m'\ s'\ t'\ g'\ q_2'$ die des sechsten Steins, und endlich $l_2'\ n_2'\ n'\ t'\ u'\ o'\ m_2'\ p_2'$ ist die erste Projection des Schlusssteins.

Jeder dieser Steine besitzt zweierlei Wölbungsflächen, eine

für das kleinere und eine andere für das grössere Tonnengewölbe; aus diesem Grunde hat auch jeder von diesen Steinen zweierlei Lagerfugen, eine Lagerfuge für das kleinere Gewölbe und eine zweite für das grössere Tonnengewölbe.

Damit die Figuren, welche die Projectionen dieser Steine vorstellen, nicht missverstanden werden, wollen wir noch bemerken, dass in Figur 485 $i_2' k_2' g' t' u' h'$ die untere Ansicht des Schlusssteins vorstellt, und $p_2' l_2' n_2' n' t' u' o' m_2'$ die obere Ansicht desselben; $i_2' h' u' o' m_2' p_2'$ und $k_2' g' t' n' n_2' l_2'$ stellen die ersten Projectionen der beiden Lagerfugen im kleinern Gewölbe vor, und $o' n' t' u'$ die Projection der Lagerfuge im grössern Tonnengewölbe.

Die Figur $q_2' s_2' f' s' t' g'$ bezeichnet die untere Ansicht des zweiten Steins, und $r_2' t_2' o_2' m' s' t' n' n_2'$ dessen Ansicht von oben; $q_2' r_2' n_2' n' t' g'$ und $s_2' t_2' o_2' m' s' f'$ sind die Projectionen der beiden Lagerfugen im kleinern Gewölbe, und $n' m' s' t'$ ist die Projection der Lagerfuge dieses Steins im grössern Gewölbe.

Am dritten Stein ist $u_2' v_2' e' r' s' f'$ die Projection der untern Ansicht, und $w_3' w_2' r' s' m' o_2'$ die Projection der obern Ansicht; $m' l' r' s'$ bezeichnet die Projection der Lagerfuge im grössern Gewölbe, und $v_2' w_2' r' e'$ die Projection der untern Lagerfuge im kleinern Gewölbe.

Die Figur $x_2' y_2' d' S' g_2' r' e'$ ist die untere Ansicht des vierten Steins, $a_4' z_2' g_2' r'$ die obere Ansicht desselben; $g_2' r' l' S'$ ist die Projection der Lagerfuge im grössern Gewölbe, und $y_2' d' S' z_2'$ die Projection der untern Lagerfuge im kleinern Tonnengewölbe.

$a_3' r_3' c' v' y' S' d'$ ist die untere Ansicht des fünften Steins, $b_3' y' S' b_4'$ dessen obere Ansicht; $x' w' y' S'$ ist die Projection der Lagerfuge im grössern Gewölbe, und $r_3' b_3' v' c'$ die Projection der Lagerfuge im kleinern Gewölbe.

$c_3' d_3' b' x' a_2' v' c'$ ist die untere Ansicht des sechsten Steins, und endlich $m_3' n_3' a' c_2' d_2' x' b'$ die untere Ansicht des Anfängers.

Die sieben Steine, von welchen hier die Rede war, haben wir in Fig. 488 bis Fig. 494 dargestellt; und es bezeichnet Fig. 488 den Anfänger, Fig. 489 den zweiten Stein von unten, Fig. 490

den dritten, Fig. 491 den vierten, Fig. 492 den fünften, Fig. 493 den sechsten, und endlich Fig. 494 den Schlussstein.

In Fig. 495 haben wir noch die innere Wölbungsfläche des kleinern Tonnengewölbes mit den zugehörigen Leibungsfugen und den daran liegenden Lagerfugen ausgetragen.

§. 160.

Wenn ein Tonnengewölbe von einem andern kleinern Tonnengewölbe nicht in normaler Richtung, sondern in schiefer Richtung durchdrungen wird, so zeigen die auf Taf. XXXXI. dargestellten Figuren das Princip des Fugenschnitts.

Es ist nämlich Fig. 497 der Grundriss, *C D* die Achse des grössern Tonnengewölbes, welches wir hier nur zur Hälfte gezeichnet haben, und *M H* ist die Achse des kleinern Tonnengewölbes.

Fig. 499 ist ein verticaler Längendurchschnitt nach der Richtung der Linie *C D*, denselben auf eine Achse *E F* projicirt, welche mit *C D* parallel ist. Fig. 498 ist derselbe Durchschnitt, aber auf eine Achse *B G* projicirt, die auf der Achse *M H* des kleinern Gewölbes normal steht.

Fig. 496 stellt einen andern verticalen Durchschnitt vor, welcher nach der Linie *M H* genommen ist, denselben auf eine Projectionsachse *A B* projicirt, welche gegen die Achse *C D* des grössern Tonnengewölbes eine normale Richtung hat.

Die in Fig. 497 herabgeschlagene Figur *K L N O P Q* stellt das normale Haupt des kleinern Tonnengewölbes zur Hälfte vor, und dient hier zur Feststellung der Leibungsfugen dieses Gewölbes.

In Fig. 500 haben wir noch den Schlussstein des kleinern Tonnengewölbes construirt, welcher den gegenseitigen Verband der beiden Gewölbe in der Gegend des Durchdringens vermittelt.

Es ist nicht zu verkennen, dass bei dieser Gewölbeconstruction diejenigen Steine, welche den Verband an der Stelle vermitteln, wo das eine Gewölbe das andere durchdringt, keine rechtwinklige Ecken erhalten können, und dass diese um so spitzer ausfallen müssen, je schräger die Richtung ist, in welcher die Gewölbe sich durchdringen. Und da es eine bekannte Sache ist, dass die spitze Kante beim Steinverbande nur geringen Wi-

derstand zu leisten im Stande ist, halten wir dafür, dass es zweckmässiger sei, den Fugenschnitt der Steine nicht nach Figur 497, sondern nach Fig. 501 anzuordnen. Die schiefe Richtung, welche das kleinere Tonnengewölbe gegen das grössere hat, wird hier durch die angeordnete Gratlinie A B in der Weise gebrochen, dass die Durchdringung der Gewölbe in normaler Richtung geschieht.

§. 161.

Die Figuren 502, 503 und 504 Tafel XXXXII. stellen den Fall vor, wo ein Kugelgewölbe von einem Tonnengewölbe auf der einen Seite durchdrungen wird. Fig. 503 ist der Grundriss dieser Gewölbeconstruction, Fig. 502 ein verticaler Längendurchschnitt nach der Linie $M' A'$ des Grundrisses, und Fig. 504 ein zweiter verticaler Durchschnitt nach der Richtung $B' C'$ Fig. 503. Das Tonnengewölbe ist kleiner als das Kugelgewölbe; die Achse desselben ist horizontal und geht durch die Achse des Kugelgewölbes, ohne jedoch durch den Mittelpunkt desselben zu gehen. In Fig. 504 ist M'' der Mittelpunkt des Kugelgewölbes und D'' der Mittelpunkt des Tonnengewölbes; und es wird sonach die Achse des Kugelgewölbes von der Achse des Tonnengewölbes in der Höhe $M'' D''$ über dem Mittelpunkte M des Kugelgewölbes geschnitten.

Das Princip der Anordnung des Fugenschnitts ist hier dasselbe wie in den vorangegangenen Beispielen dieses Kapitels; indem auch hier die untern centralen Lagerfugen des Kugelgewölbes mit den Lagerfugen des eindringenden Tonnengewölbes im stetigen Zusammenhange stehen müssen, wie aus Figur 504 deutlich zu ersehen ist. Wenn daher beide Grundbogen dieser Gewölbe durch die lichte Weite derselben gegeben sind, so müssen mehrere Eintheilungen der beiden Grundbogen versucht werden, um eine passende zu finden, welche den Bedingungen entspricht, dass

1) alle Steine im Tonnengewölbe und im Kugelgewölbe gleich gross sind;
2) dass die in concentrischen Kreisen ringsherum laufenden inneren Leibungsfugen des Kugelgewölbes in der

Gegend, wo die Durchdringung Statt findet, in Centralfugen des Tonnengewölbes übergehen;

3) dass die Länge dieser Centralfugen der Stärke des Tonnengewölbes entspricht; und dass endlich

4) der Bogen $a'' b''$ Fig. 502 nicht zu klein ist, weil der Schlussstein, dem dieser Bogen angehört, als Widerlager der obern Steinschichten des Kugelgewölbes dient.

Sind die beiden Grundbogen in der Weise eingetheilt worden, dass diesen vier Bedingungen genügt wird, so construire man die beiden verticalen Durchschnitte des Kugelgewölbes, wie solche Figur 502 und Figur 504 zeigen, und setze das Haupt $c''' d''' e''' f''' g'''$ des Tonnengewölbes fest.

Wir haben hier dem Tonnengewölbe in den erstern Steinen, welche in das Kugelgewölbe eingreifen, eine grössere Stärke gegeben als in den übrigen Theilen dieses Gewölbes, wie solches aus Fig. 502 und Fig. 504 ersehen werden kann, woselbst der Bogen $f''' g'''$ Fig. 504 den Rücken des stärkern Theils, und $k''' i'''$ den Rücken des schwächern Theils des Tonnengewölbes vorstellt.

Nachdem das Haupt des Tonnengewölbes festgesetzt worden ist, ermittele man die Curve, in welcher die innere Fläche des Kugelgewölbes von der cylindrischen Fläche des Tonnengewölbes geschnitten wird. Zu dem Ende construire man Parallelen der Cylinderfläche, und bestimme die Punkte, in welchen die Kugelfläche von den Parallelen durchdrungen wird. Zu diesem Behuf denke man irgend eine horizontale Ebene, von welcher beide Gewölbflächen geschnitten werden, und bestimme denjenigen kleinern Kreis der Kugel, in welchem die innere Kugelfläche von dieser Ebene geschnitten wird. Hierauf ermittele man die beiden Parallelen oder Seiten, in welchen die innere cylindrische Wölbungsfläche des Tonnengewölbes von der angenommenen horizontalen Ebene geschnitten wird: diese beiden Parallelen werden dann jenen kleineren Kreis der Kugel in zwei Punkten schneiden, welches zwei Punkte der verlangten Durchschnittslinie sind.

Um z. B. den Punkt k dieser Durchschnittslinie zu erhalten, ziehe man durch den Theilpunkt k''' Fig. 504 die gerade Linie $F''' G'''$ parallel mit $M''' K'''$, und betrachte diese Linie als den

Schnitt einer horizontalen Ebene, welche beide Gewölbtheile durchschneidet; die Kugelfläche nämlich in einem kleinern Kreise, dessen Radius die Linie $F'''\,G'''$ ist, und die cylindrische Fläche des Tonnengewölbes in der durch k gehenden Seite des Cylinders. Man darf daher nur in Fig. 503 aus dem Mittelpunkte M' mit der Länge $F'''\,G'''$ als Radius den Kreisbogen $H'\,I'$ beschreiben, und auf diesen den Punkt k''' nach k' in einer Richtung projiciren, welche auf $M'''\,K'''$ normal ist, so ist k' die erste Projection des Punktes k der in Rede stehenden Durchschnittslinie.

Die zweite Projection k'' des Punktes k ergiebt sich nun sogleich aus der ersten und aus der dritten Projection dieses Punktes, indem man die Höhe $A^0\,N''$ Fig. 502 gleich der Höhe $l'''\,k'''$ Fig. 504 macht, sodann die gerade Linie $N''\,k''$ parallel mit $A^0\,M^0$ zieht, und den Punkt k' in einer Richtung, welche auf $A^0\,M^0$ normal ist, nach k'' projicirt. In derselben Weise werden alle übrigen Punkte der in Rede stehenden Durchschnittslinie erhalten.

Man schreite nun zur Construction des gekrümmten Hauptes des Tonnengewölbes, indem man zunächst dessen Form in dem Durchschnitt Figur 504 feststellt; die erste und die zweite Projection desselben kann man alsdann aus der bekannten dritten Projection leicht finden. Um etwa mit Hülfe des Punktes h''' die Punkte h' und h'' in Fig. 503 und Fig. 502 zu ermitteln, beschreibe man mit dem Radius $O'''\,P'''$ Fig. 504 aus dem Punkte M' Fig. 503 einen Kreisbogen, und projicire den Punkt h''' nach h' auf diesen Kreisbogen, so ist h' die erste Projection des Punktes h. Ferner mache man die Höhe $M^0\,m''$ Figur 502 gleich der Höhe des Punktes h''' über der Linie $M'''\,K'''$ Figur 504, ziehe sodann die gerade Linie $m''\,h''$ parallel mit $M^0\,A^0$, und projicire den Punkt h' auf diese Linie nach h'': dieser Punkt ist die verlangte zweite Projection des Punktes h. In derselben Weise werden alle übrigen Punkte des gekrümmten Hauptes ermittelt.

Von den Steinen, welche den gegenseitigen Verband der beiden Gewölbtheile vermitteln, haben wir in Fig. 505 den An-

fänger dargestellt, in Fig. 506 den gemeinschaftlichen Schlussstein, und in Fig. 507 den Stein, welcher zur Seite des Schlusssteins sich befindet.

§. 162.

Fig. 509 Taf. XXXXII. ist der Grundriss eines Tonnengewölbes, welches von einem steigenden kleineren Tonnengewölbe in normaler Richtung durchdrungen wird.

Figur 508 ist ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A' B' des Grundrisses, und Figur 510 ein Längendurchschnitt nach der Linie C' D'.

Da alle Constructionen aus den Figuren klar hervorgehen, halten wir eine weitere Beschreibung dieser Gewölbeconstruction für überflüssig.

§. 163.

In Fig. 511, Fig. 512 und Fig. 513 Taf. XXXXIII. haben wir den Fall gewählt, wo ein ansteigendes Tonnengewölbe von einem kleinern horizontalen Tonnengewölbe in normaler Richtung durchdrungen wird. Fig. 512 ist der Grundriss dieser Gewölbeconstruction, Fig. 511 ein normaler Querdurchschnitt vom ansteigenden Tonnengewölbe, und Figur 513 ein Längendurchschnitt nach der Linie A' B' des Grundrisses.

Wenn ein Tonnengewölbe von einem kleinern ansteigenden Tonnengewölbe in der Art durchdrungen wird, wie Figur 508, Fig. 509 und Fig. 510 zeigen, so können die Gewölbsteine in der Gegend des Durchdringens keine rechtwinklige Ecken erhalten; denn es werden diese Ecken um so spitzer ausfallen müssen, je grösser die Steigung des steigenden Tonnengewölbes ist. Aus diesem Grunde haben wir in Fig. 514, Fig. 515 und Fig. 516 die Anordnung des Fugenschnitts in der Weise durchgeführt, dass der gegenseitige Verband beider Tonnengewölbe nicht durch schräge Steinschichten, sondern durch horizontale bewerkstelligt wird, indem eine horizontale Vorlage die beiden Tonnengewölbe verbindet. Dadurch wird die Festigkeit der Steine, also auch die der Gewölbe, entschieden vermehrt.

Wenn ein Kugelgewölbe von einem ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen wird, kann die Anordnung des Steinver-

bandes nach Fig. 517, Fig. 518 und Fig. 519 getroffen werden. Zur Beseitigung der spitzen Ecken haben wir uns hier desselben Mittels bedient, welches bei der in Fig. 515 dargestellten Gewölbeconstruction in Anwendung gebracht worden ist. Das Kugelgewölbe wird nämlich nicht unmittelbar von dem ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen, sondern ein horizontales Tonnengewölbe verbindet ersteres mit letzterem. In Fig. 520 haben wir noch die Form des gemeinschaftlichen Schlusssteins desjenigen Gewölbtheils dargestellt, welcher den gegenseitigen Verband der Gewölbe in der Gegend des Durchdringens vermittelt.

Eilftes Kapitel.

Von den Treppen.

§. 164.

Die Steine einer Treppe heissen Stufen, der obere Theil einer Stufe heisst Auftritt, und die Breite des Auftritts heisst die Stufenbreite. Zwischen der Stufenbreite und der Höhe der Stufe findet stets ein bestimmtes Verhältniss Statt, so dass mit der Aenderung der Stufenbreite eine Ab- oder Zunahme der Stufenhöhe Statt findet; und umgekehrt ändert sich die Stufenbreite, wenn die Höhe der Stufe verändert wird. Dies gegenseitige Verhältniss ist so, dass das Doppelte der Stufenhöhe zur Stufenbreite addirt, 2 Fuss betrage. Wenn daher eine Stufe 6 Zoll hoch ist, so muss der Auftritt 12 Zoll breit sein; und ist die Höhe einer Stufe 7 Zoll, so erhält der Auftritt 10 Zoll Breite. Gewöhnlich erhält die Stufe 6 bis $7\frac{1}{2}$ Zoll zur Höhe. Dies Verhältniss ist das schicklichste, indem dasselbe den Stufen eine gewisse Festigkeit giebt, und man auf denselben bequem hinauf und herab steigen kann.

Bei innern Treppen grosser Gebäude, als Kirchen, Krankenhäusern, Palästen u. s. w. erhalten die Stufen auch wohl weniger als 6 Zoll Höhe, um die Besteigung der Treppen bequemer zu machen. Die geringste Höhe aber, welche man geben kann, ist 4 Zoll; bei einer geringeren Höhe würden die massiven Stufen die gehörige Festigkeit nicht mehr besitzen.

Die Länge der Stufen ist nach Umständen verschieden; Nebentreppen erhalten $2\frac{1}{2}$ bis 3 Fuss lange Stufen; Treppen von Wichtigkeit erhalten 4 bis 6 Fuss lange Stufen, und Prachttreppen erhalten 8 bis 12 Fuss lange Stufen.

Die Höhe einer Stufe heisst die Steigung derselben; und ein zwischen den Stufen befindlicher horizontaler Raum, welcher breiter als eine Stufe ist, wird Ruheplatz oder Podest genannt.

Treppenarm nennt man eine ununterbrochene Folge von Stufen zwischen zwei Ruheplätzen, oder zwischen dem Antritt der Treppe und dem ersten Ruheplatz. Jeder Treppenarm erhält eine ungerade Anzahl Stufen, und zwar nicht mehr als 21 Stufen, und nicht weniger als 3 Stufen. Hat ein Treppenarm mehr als 21 Stufen, so ist die Ersteigung der Treppe sehr mühsam; hat derselbe aber weniger als 3 Stufen, so ist das Herabsteigen im Finstern unbequem und gefährlich.

Wange heisst die Einrahmung der Stufen, in welche die Kopfenden der Stufen eingefugt werden, wodurch den Stufen der Treppe eine passende Säumung gegeben wird.

§. 165.

Die Treppen werden in drei Klassen eingetheilt, nämlich in Freitreppen, in Treppen mit geraden Armen, und drittens in Treppen mit krummen Armen.

Freitreppen sind solche, welche im Freien, meist aussen an den Gebäuden angebracht sind. Diese Treppen sind daher in der Regel unbedeckt. Die Freitreppen erhalten selten Ruheplätze, und haben daher 3 bis 21 Stufen.

Die Treppen mit geraden Armen sind die zweckmässigsten und schönsten. In Hinsicht ihres Baues unterscheidet man vier Arten, nämlich:

1) die Stufen sind mit ihren Kopfenden in zwei geraden meist parallelen Mauern befestigt, und der untere Theil der Stufen ist sichtbar;
2) die Stufen werden durch ein steigendes Gewölbe getragen, welches zwischen zwei geraden und parallelen Mauern angebracht ist;
3) die Stufen ruhen auf einem steigenden vorspringenden Gewölbe, und
4) die Stufen tragen sich gegenseitig frei, indem entweder nur das eine Kopfende der Stufen in einer Mauer sich befindet, und das andere Kopfende ohne Wange und ohne Verkleidung ist; oder die Stufen tragen sich gegenseitig, und beide Kopfenden sind frei, ohne Einmauerung und ohne Wange.

Die Treppen der erstern Art heissen Treppen mit Ruhe-

plätzen zwischen zwei Mauern; die Treppen der zweiten Art heissen Treppen auf gewölbten Lager zwischen zwei Mauern; die der dritten Art werden Treppen auf vorspringendem Gewölbe genannt; und endlich die Treppen der vierten Art nennt man freitragende Treppen.

Die freitragenden Treppen sind mit oder ohne Wange, und die untere Ansicht derselben ist eine stetig zusammenhängende Fläche.

Die Treppen mit krummen Armen werden in Hinsicht ihrer Construction eingetheilt, wie die Treppen mit geraden Armen. Man hat daher Treppen mit krummen Armen zwischen zwei Mauern, Treppen auf gewölbtem Lager zwischen zwei Mauern, Treppen auf vorspringendem Gewölbe, und endlich freitragende Treppen mit krummen Armen, welche entweder mit einer Wange versehen sind, oder nicht.

Von den Freitreppen.

§. 166.

Fig. 521 A. Taf. XXXXIV. stellt den Grundriss einer Freitreppe vor, welche zwei gerade Wangenmauern hat, und deren verticalen Durchschnitt Figur B vorstellt. Die untere Stufe ruht auf einer Fundamentmauer, und die übrigen Stufen sind mit ihren Stirnenden in die Wangenmauern eingefugt, wodurch sie ein festes Auflager gewinnen. Jede Stufe überdeckt die zunächst folgende um 1 bis 2 Zoll, wie aus Figur B zu ersehen ist.

Ist die Freitreppe so breit, dass die Stufen aus einzelnen Steinen nicht mehr gebildet werden können, so werden unter den Stufen kleine Stützmauern aufgeführt, und zwar in solchen Entfernungen, dass die Stossfuge einer Treppenstufe auf die Mitte der Stützmauer treffe.

Ist die Freitreppe sehr hoch, so würden die Stützmauern zu viel Material erfordern, und es ist deshalb zweckmässiger, steigende Bogen unter den Stufen anzuordnen, auf welchen die Stufen ihre feste Lagerung finden. Hat die Freitreppe nur 3 oder 5 Stufen, so werden diese Stufen fast immer auf massives Mauerwerk gelegt.

Eine andere Anordnung der Freitreppe zeigt Fig. 522; A ist

der halbe Grundriss, wenn die Treppe mit einer schräg ansteigenden Wangenmauer versehen ist, wie Figur B zeigt; C ist der halbe Grundriss, wenn die Wangenmauer aus mehreren Abtreppungen besteht, wie Figur D zeigt. Hierbei haben wir aber vorausgesetzt, dass jede Stufe der Treppe noch aus einem einzelnen Stein construirt werden könne, was immer möglich ist, wenn die Länge der Stufen nicht mehr als 12 bis 14 Fuss beträgt.

Breitere Treppen erhalten Stufen mit Stossfugen zwischen den Wangen. Diese Stossfugen werden entweder verkittet, um das Durchdringen des Regenwassers zu verhindern; oder man ordnet die Stossfuge in der Art an, wie Fig. 524 und Fig. 525 zeigen. Die Stossfuge wird hier durch eine gebrochene Ebene gebildet, welche aus zwei Theilen besteht, zwischen denen eine kleine cylindrische Rinne angebracht ist, welche nach hinten verschlossen und nach vorn geöffnet ist. Diese kleine Rinne nimmt das durchdringende Regenwasser auf, und führt es der nächstfolgenden Stufe zu. Damit nun aber auch zwischen den horizontalen Lagern, in welchen die Stufen sich überdecken, das Regenwasser nicht durchdringen könne, ordnet man die Stufen so an, wie Fig. 523 im Durchschnitt zeigt und Fig. 525 in der perspectivischen Ansicht.

§. 167.

Wenn eine Freitreppe nur so breit ist, dass jede Stufe aus einem einzelnen Stein dargestellt werden kann, und werden die Stirnenden der Stufen in festliegenden Wangen oder Wangenmauern eingefugt, so ist ein Verschieben der Stufen nicht möglich. Ist aber die Treppe so breit, dass jede Stufe zwischen den Enden noch Stossfugen erhält, so ist das mögliche Verschieben der Stufen ein Umstand, welcher vom Baumeister nicht genug berücksichtigt werden kann. Der Verband der Stufen in Fig. 521 und Fig. 522 ist in diesem Falle nicht zulässig, da dieser Verband das Verschieben der Stufen nicht verhindern würde.

In diesem Falle würde man den Steinverband nach Fig. 528 und Fig. 529 anordnen müssen; Fig. 528 zeigt diesen Verband im Durchschnitt und Figur 529 im Grundriss. Die Freitreppe

wird hier aus Doppelstufen gebildet, welche mit einfachen Stufen wechseln.

Die unterste Stufe ist einfach, und findet auf dem darunter befindlichen Fundamente die feste Lagerung. Zwischen den verschiedenen Theilen dieser Stufe sind lange Bindersteine A angeordnet, deren keilförmiger Fugenschnitt das Verschieben der Theile dieser Stufe verhindert.

Auf diese einfache Stufe folgt eine Doppelstufe, deren Theile ohne Binder stumpf zusammenstossen, da die untere Stufe das Verschieben der Doppelstufe verhindert. Auf diese Doppelstufe folgt wieder eine einfache Stufe mit Bindersteinen A, welche ihr festes Lager theils durch das Gewicht der Doppelstufe erhalten, theils auch dadurch, dass sie in den unter der Treppe befindlichen Stützmauern fest eingemauert werden.

Es ist einleuchtend, dass bei diesem Steinverbande ein Verschieben der Treppenstufen nicht möglich ist. Es kann zwar nicht in Abrede gestellt werden, dass eine Freitreppe in diesem Princip angeordnet, der Kosten mehr verursacht, als eine Treppe mit einfachen Stufen, da bei jeder Doppelstufe eine einfache Stufe verloren geht, und deshalb bedeutend mehr rohes Material erforderlich ist, als bei der Construction aus einfachen Stufen. Man hat aber auch den Vortheil, dass die Treppe in gutem Stande bleibt, ohne nöthig zu haben, Ausbesserungen daran zu machen, so lange die Steine den Ursachen der Zerstörung widerstehen, denen sie ausgesetzt sind.

Das Profil der Treppenstufen wird entweder so angeordnet, wie Fig. 521 B zeigt, oder wie Fig. 527 vorstellt, wo an der vordern obern Kante eine Welle mit einem kleinen Plättchen darunter angeordnet ist; oder ein breites Band, welches fast die halbe Höhe der Stufe einnimmt, bildet den Saum der Stufe, wie aus Fig. 528 zu ersehen ist.

Die unterste Stufe einer Freitreppe erhält stets eine grössere Höhe als die übrigen Stufen, aus Gründen, welche ziemlich nahe liegen.

§. 168.

Fig. 531 ist der Grundriss einer Freitreppe mit drei Armen, welche zwei Aufgänge bilden; Fig. 530 stellt die Ansicht dieser

nur 27 Steigungen bekomme; zu dem Ende darf man nur die Zahl 178 dividiren durch die Zahl 27, der Quotient $6\frac{16}{27}$ giebt das Maass der Steigung in Zollen, welche jede Stufe bekommen muss.

Nachdem man die Anzahl der Steigungen der Treppe ermittelt hat, theile man diese Zahl in so viele Theile, als die Treppe Absätze erhalten soll; dadurch erhält man die Anzahl der Steigungen, welche jeder Treppenarm aufnehmen muss. Diese Anzahl Steigungen in jedem Treppenarm muss ungerade sein. Hierauf bestimme man die Breite der Ruheplätze oder Podeste, so wie auch die Breite des Auftritts jeder Stufe; diese letztere erhält man, wenn die Steigung jeder Stufe in Zollen ausgedrückt doppelt genommen und die hervorgehende Zahl von der Zahl 24 hinweggenommen wird, der Rest giebt die Breite des Auftritts jeder Stufe.

Bei einer Steigung von $6\frac{1}{2}$ Zoll ist 13 das Doppelte derselben, daher der Unterschied $24 - 13 = 11$ Zoll die Breite des Auftritts jeder Stufe.

Da in jedem Treppenarm eine Stufenbreite weniger enthalten ist, als Steigungen vorhanden sind, indem die oberste Stufenbreite mit der Podestfläche zusammenfällt, darf man nur die Anzahl der Ruheplätze (den obern Austritt mitgerechnet) von der Anzahl der Steigungen hinwegnehmen, um die Anzahl der Stufenbreiten zu erhalten, welche in der Treppe vorhanden sein müssen. Diese Stufenbreiten addire man nun zusammen, füge die Breiten der Ruheplätze hinzu, dadurch erhält man die Ausdehnung der Treppe in der Horizontalprojection, wonach der Grundriss angefertigt werden kann.

§. 170.

Die Stufen einer Treppe zwischen zwei geraden Mauern ruhen entweder auf einem steigenden Tonnengewölbe, welches zwischen den zwei einschliessenden Mauern sich befindet, oder die Stufen überdecken sich nur um $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll, und haben keine weitere Unterstützung. In diesem letzteren Falle müssen aber die Kopfenden der Stufen in den beiden einschliessenden Mauern gut eingefugt werden, damit die Stufen ein festes Lager

erhalten. Ruhen die Stufen auf einem steigenden Tonnengewölbe, so werden die Kopfenden jeder Stufe entweder auch in den einschliessenden Mauern eingefugt, oder sie stossen nur stumpf gegen dieselben. Jedenfalls muss aber die unterste Stufe jedes Treppenarmes in den Mauern gut eingefugt werden, damit dieselbe nicht verschoben werden kann; jede der übrigen Stufen erhält dann einen $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll tiefen rechtwinkligen Falz an ihrer vordern untern Kante, welcher die feste Lagerung der Stufen vermittelt.

Dies steigende Tonnengewölbe unter den Treppenstufen erhält nur schwache Dimensionen, und weil die Ruheplätze oder Podeste eine horizontale Lage haben, muss das Gewölbe unter denselben entweder ein Klostergewölbe, oder ein Kreuzgewölbe sein; auch das conische Gewölbe kann hier mit Vortheil angewendet werden.

Die viereckig gewundene Schneckentreppe mit rechtwinkliger Spindel.

§. 171.

Von den Treppen mit geraden Armen zwischen zwei einschliessenden Mauern bildet die viereckig gewundene Schneckentreppe eine besondere Art. Die Anlage dieser Treppe ist in Figur 535 Taf. XXXXV im Grundriss zur Hälfte dargestellt; und man ersieht aus dieser Figur, dass die ersten Projectionen der Vorderseiten der Stufen nicht parallel sind, sondern eine convergirende Richtung haben, welche durch den gemeinschaftlichen Mittelpunkt der vier Quadrate geht, die durch die einschliessenden Mauern der Treppe gebildet werden. Bei der Construction der Treppen aus Holz würde es fehlerhaft sein, die Richtung der Vorderseite einer Stufe in der Richtung der Diagonalen A′ B′ und C′ D′ anzuordnen; die Construction dieser Treppe aus Schnittsteinen erfordert aber, dass die Diagonalen A′ B′ und C′ D′ mit der ersten Projection der Vorderseite einer Stufe zusammenfallen.

Die Anordnung der Stufen dieser Treppe geschieht nun in der Art, dass man zunächst die Diagonalen A′ B′ und C′ D′ zieht, dieselben in den Punkten F′ und G′ halbirt, und die gerade

Linie $F' G'$ construirt. Hierauf trage man die mittlere Breite, welche man jeder Stufe zu geben beabsichtigt, von F' nach G', und wenn etwa kein Theilpunkt in G' treffen würde, ändere man die mittlere Stufenbreite dahin, dass ein Theilpunkt in G' fällt. Durch die erhaltenen Theilpunkte und durch den Mittelpunkt M' ziehe man sodann die geraden Linien $I' K'$, $L' N'$, $O' P'$ u. s. f., so stellen diese die ersten Projectionen von den Vorderseiten der Stufen vor. Eben so findet man die ersten Projectionen der Vorderseiten der Stufen in den drei übrigen Treppenarmen. Nachdem die Projectionen der Stufen der Treppe ermittelt sind, wende man sich zunächst zur Bestimmung der Projectionen des steigenden Gewölbes, welches die Treppenstufen trägt. Die innere Fläche dieses Gewölbes ist die Vereinigung von vier gleichen windschiefen steigenden Tonnengewölben, welche zwischen den einschliessenden Mauern der Treppe sich befinden. Fig. 534 stellt eine gerade Ansicht dieser Gewölbeconstruction vor. Der Halbkreis $A'' F'' B''$ ist die zweite Projection der Gratlinie, deren erste Projection die gerade Linie $A' B'$ ist; und der Halbkreis $D'' G'' C''$ ist die zweite Projection der Gratlinie über der Diagonale $C' D'$ Figur 535. Die Lage dieses zweiten Halbkreises $D'' G'' C''$ wird erhalten, wenn man die Länge der geraden Linie $D^0 D''$ mit der Summe der Steigung aller Stufen, welche in dem einen Treppenarme sich befinden, gleich gross macht. Da hier in jedem Treppenarme 6 Stufen angeordnet worden sind, so muss die Länge der Linie $D^0 D''$ die Steigung h jeder Stufe 6 Mal enthalten. Die beiden Halbkreise $A'' F'' B''$ und $D'' G'' C''$ Fig. 534 theile man nun in so viel gleiche Theile, als das Gewölbe Steinschichten erhalten soll, und verbinde die ähnlich liegenden Punkte durch gerade Linien: dadurch erhält man die windschiefen Linien, welche die zweite Projection der inneren Leibungsfugen des Gewölbes in dem Treppenarme $A' B' D' C'$ vorstellen.

Der Treppenarm, dessen erste Projection die Figur $C' W' R' D'$ zur Hälfte vorstellt, enthält ebenfalls 6 Treppenstufen; wenn man daher die Höhe $C'' W''$ gleich gross macht mit der Steigung dreier Treppenstufen, und durch den Punkt W'' mit dem Radius $F^0 B''$ einen dritten Halbkreis construirt, so stellt dieser die zweite Projection der Richtungslinie des Gewölbes vor, deren erste Pro-

jection die gerade Linie R′ W′ ist. Theilt man nun auch diesen Halbkreis eben so, wie der Halbkreis D″ G″ C″ eingetheilt wurde, und verbindet man ähnlich liegende Punkte durch gerade Linien, so gehen die parallelen Linien G″ H″, a'' b'', c'' e'' und m'' n'' hervor, welche die zweite Projection der windschiefen Leibungsfugen des Gewölbes über C′ D′ R′ W′ vorstellen. Damit die Figur nicht undeutlich werde, ist die zweite Projection dieses Gewölbtheils nur zur Hälfte in Fig. 534 gezeichnet worden.

Um noch die Gratlinien zu erhalten, in welchen die steigenden Tonnen sich schneiden, darf man nur über O′ P′ Figur 535 einen Halbkreis beschreiben, in den Punkten o', p' u. s. f. gerade Linien normal auf A′ B′ construiren, und diese gleich gross machen mit den Höhen jenes Halbkreises in den ähnlich liegenden Punkten, also $o'(o) = q'(q)$, $p'(p) = r'(r)$ u. s. f.; dadurch erhält man Punkte (o), (p) u. s. f. der Gratlinie, von welcher die Rede ist.

Die innere einschliessende Mauer der Treppe, deren Grundriss durch die Figur Q′ B′ D′ R′ zur Hälfte vorgestellt wird, ist entweder hohl oder nicht, und heisst die Spindel der Treppe.

Von den Treppen mit geraden Armen auf vorspringendem Gewölbe.

§. 172.

Die Construction der Treppen mit geraden Armen auf einem vorspringendem Gewölbe geht aus Fig. 536, Fig. 537 und Fig. 538 deutlich hervor. Fig. 538 ist der Grundriss dreier Arme dieser Treppenanlage. Zwischen je zwei Treppenarmen befindet sich ein Podest, unter welchem das vorspringende Gewölbe entweder ein Klostergewölbe bildet, wie die Figur A in Figur 538 zeigt, oder das vorspringende Gewölbe bildet hier ein conisches Gewölbe, wie Figur B zeigt. Wenn die Podeste in dem Princip der Klostergewölbe unterwölbt werden, so stellt Fig. 537 eine gerade Ansicht dieser Treppenconstruction vor; wird aber das Gewölbe unter den Podesten conisch angeordnet, so ist die gerade Ansicht der Treppe wie Fig. 536 zeigt.

Von den Treppen zwischen cylindrischen Mauern.

§. 173.

Fig. 540 Taf. XXXXVI. ist der Grundriss einer Treppe zwischen zwei cylindrischen Mauern, und Fig. 539 ist ein verticaler Durchschnitt nach der Richtung A E des Grundrisses. Diese Treppen können eine oder mehrere Wendungen erhalten, und bekommen in gewissen Entfernungen Ruheplätze. Die Richtung der Vorderseiten der Stufen geht durch den Mittelpunkt M der cylindrischen Mauern, und es erhalten daher die Stufen an dem innern Kopfende eine geringere Breite, als an dem äussern Kopfende. Je kleiner der Radius M C der innern cylindrischen Mauer ist, desto schmäler wird der Auftritt der Stufe in der Nähe ihres innern Kopfendes, und desto unbequemer ist die Besteigung der Treppe. Aus diesem Grunde muss darauf gehalten werden, dass die Länge C M grösser sei als $\frac{1}{6}$ A E, oder die Breite A C der Treppe geringer als $\frac{1}{3}$ A E.

Um die Eintheilung der Treppenstufen zu machen, halbire man die Breite G E der Treppe in D, und construire aus dem Mittelpunkte M den Kreisbogen D F B. Sodann trage man die der Steigung entsprechende Breite des Auftritts auf diesen Kreisbogen D F B, und ziehe durch die erhaltenen Theilpunkte und durch den Mittelpunkt M gerade Linien, so stellen diese die ersten Projectionen der Vorderflächen der Stufen vor.

Fig. 542 ist der Grundriss und Fig. 541 ein mittlerer gerader Durchschnitt von einer Treppe zwischen zwei cylindrischen Mauern, von welchen aber nur die äussere Mauer beliebig fortgesetzt wird, die innere aber in treppenförmigen Absätzen endigt. Diese Absätze haben die Höhe von 2 bis 3 Stufen zur Höhe.

Die Figuren 543 und 544 zeigen endlich noch die Construction einer Treppe, wo die äussere einschliessende cylindrische Mauer beliebig fortgesetzt gedacht werden kann, die innere cylindrische Mauer aber nur bis zur Treppe reicht, und hier in einer krummen Wange endigt, welche von der Fläche einer Schraubenlinie begrenzt wird. Die beiden Seitenflächen der Wange endigen oberhalb in Curven, welche man Schraubenlinien

nennt. Diese Schraubenlinien treten 2 bis 3 Zoll über der vorderen Oberkante jeder Stufe hervor.

Um diese Schraubenlinien zu zeichnen, darf man nur die einfache Aufgabe lösen: die erste Projection eines Punktes sei gegeben, so wie noch die Höhe dieses Punktes im Raum, man soll die zweite Projection jenes Punktes ermitteln.

In den Figuren 545 und 546 haben wir einen Theil der cylindrischen Wangenmauer in den vierfachen Maassen, nach welchen Fig. 544 gezeichnet worden ist, projicirt. Fig. 546 ist der Grundriss und Figur 545 eine gerade Ansicht der Wangenmauer.

Die Steinschichten der Wangenmauer haben eine horizontale Lage und horizontale Lagerfugen, von welchen die obere schiefe Fläche der Wangenmauer in spitzen Winkeln geschnitten würde, wenn die horizontalen Lagerfugen in gerader Richtung bis zur Schraubenlinienfläche sich erstreckten. Aus diesem Grunde müssen jene horizontalen Lagerfugen in der Nähe der Schraubenlinienfläche in der Art gebrochen werden, dass ihre Richtung normal auf den Schraubenlinien steht, welche durch die Oberkanten der Wange gebildet werden. Um nun diese Richtung zu erhalten, theile man den Kreisquadrant $a' i'$ Fig. 546 in so viel gleiche Theile, als Lagerfugen die obere Fläche der Wangenmauer in einem Quadrant begegnen; geschieht dies etwa von vier Lagerfugen, so theile man den Kreisbogen $a' i'$ in vier gleiche Theile, indem man $a' d' = d' g' = g' h' = h' i'$ macht, und ziehe durch diese Theilpunkte und durch den Mittelpunkt m' die geraden Linien $d' n'$, $g' q'$ und $h' r'$. Nachdem dies geschehen ist, trage man denjenigen Theil der Schraubenlinien der Wange aus, welcher einer horizontalen Steinschicht entsprechen würde, wenn die horizontalen Lager in gerader Richtung die Schraubenlinienfläche schneiden würden. Zu dem Ende mache man in Fig. 547 die gerade Linie $a e$ gleich dem Kreisbogen $a' d'$ Fig. 546, $a f$ Fig. 547 gleich $k' n'$ Fig. 546, ziehe $a p$ normal auf $a f$ und mache diese Linie gleich der Höhe einer Steinschicht. Zieht man nun die geraden Linien $p e$ und $p f$, so stellen diese die ausgetragenen Schraubenlinien vor, um die es sich handelte.

Man mache nun die Länge $a o$ gleich 3 bis 6 Zoll, ziehe

$o\,h$ parallel mit $a\,f$, und construire aus den Punkten h und n gerade Linien $h\,i$ und $n\,c$ normal auf $a\,f$, so wie $h\,d$ normal auf $p\,f$, und $n\,b$ normal auf $p\,e$. Ferner werde $a'\,b'$ Fig. 546 gleich $e\,c$ Fig. 547 gemacht, $a'\,c'$ Fig. 546 gleich $e\,b$ Fig. 547, $k'\,l'$ Figur 546 gleich $f\,i$ Fig. 547, und $k'\,m'$ Fig. 546 gleich $f\,d$ Figur 547.

Sodann werde der Punkt b' Fig. 546 auf die entsprechende zweite Projection der innern Schraubenlinie nach b'' Fig. 545 projicirt, der Punkt l' auf die äussere Schraubenlinie nach l'', und der Punkt c' auf die gerade Linie $x''\,k''$ nach c''; verbindet man nun die Punkte b', l', und c', w' Fig. 546 durch gerade Linien, so wie auch in Fig. 545 die Punkte b'', l'', und c'', b'', so ist die gebrochene Linie $x''\,c''\,b''\,l''$ die zweite Projection der obern Lagerfuge der untersten Steinschicht.

Man mache ferner $d'\,e'$ Fig. 546 gleich $a'\,b'$, $d'\,f'$ gleich $a'\,c'$, $n'\,o'$ gleich $k'\,l'$ und $n'\,p'$ gleich $k'\,w'$; projicire sodann e' nach e'' Fig. 545, f' nach f'' und o' nach o'', ziehe die geraden Linien $f''\,e''$ und $e''\,o''$; diese Linien stellen alsdann die zweite Projection desjenigen Theils der zweiten Lagerfuge vor, welcher auf der Schraubenlinienfläche normal steht.

Auf demselben Wege werden die Projectionen der übrigen Lagerfugen erhalten.

Fig. 548 stellt einen Stein der cylindrischen Wangenmauer vor; Fig. 549 und Fig. 550 zeigen Wangensteine der cylindrischen Mauer, an welchen Theile der Schraubenfläche sich befinden; Fig. 549 stellt den untersten und Fig. 550 den zunächst folgenden Wangenstein vor.

Um einen Wangenstein mit der Schraubenlinienfläche zu bearbeiten, etwa den in Fig. 550 dargestellten Stein, sucht der Arbeiter zunächst das Cylinderstück A B C D E F G H darzustellen, und zwar mittelst der Schablone der Lagerfugen und der Schablone der Stirnenden des Steins. Nachdem dies Cylinderstück bearbeitet worden ist, werden in mehreren Punkten der Bogen A G und B F gerade Linien normal auf dem untern Lager construirt, und auf diesen die entsprechenden Höhen der beiden Schraubenlinien getragen, welche dieser Stein erhalten soll. Eben so werden alle übrigen Grenzpunkte des Steins vermittelst

Stichmaass aufgetragen, und hiernach der Stein vollständig bearbeitet.

§. 174.

In dem Vorigen hatten wir vorausgesetzt, dass die Oberseite der Wange durch die Steinschichten der innern cylindrischen Wangenmauer gebildet werde. Statt dessen kann man aber auch das kleinere Stirnende jeder Treppenstufe mit dem Wangensteine in der Art verbinden, wie dies späterhin bei den freitragenden Treppen mit Wangen gezeigt wird. Oder man bildet auch wohl die Wange aus einer für sich bestehenden Steinschicht, welche zwischen zwei parallelen Schraubenlinienflächen sich befindet, und gegen welche die Schichten der cylindrischen Mauer in der Weise endigen, wie im vorigen Paragraphen gezeigt wurde. Wie nun in diesem letztern Falle ein solches Wangenstück projicirt und bearbeitet werde, ist aus den Figuren 551 bis 557 zu ersehen.

Es stellt nämlich Figur 552 den Grundriss eines Wangenstücks vor und Fig. 551 eine gerade Ansicht desselben, welche auf folgendem Wege erhalten wird.

Man theile den Bogen $a' d'$ in vier gleiche Theile, indem man $a' b' = b' i' = i' c' = c' d'$ macht, und ziehe durch die erhaltenen Theilpunkte und durch den Mittelpunkt m' die geraden Linien $b' g'$, $i' k'$ und $c' f'$.

2) In Fig. 551 mache man $K'' e''$ gleich der Höhe der Steigung dieses Wangenstücks, und theile diese Höhe eben so ein, wie der Kreisbogen $a' d'$ eingetheilt wurde; dies gebe die Punkte L'', M'' und N''. Durch diese Punkte construire man gerade Linien $L'' g''$, $M'' i''$, $N'' c''$ und $e'' d''$ parallel mit der angenommenen Projectionsbasis $R'' K''$, und projicire den Punkt a' Figur 552 nach a'' Fig. 551 und h' nach h'' auf die gerade Linie $R'' K''$. Ferner projicire man b' nach b'' und g' nach g'' auf die Linie $L'' g''$, den Punkt i' nach i'', c' nach c'' und f' nach f'', und endlich d' nach d'' und e' nach e''.

3) Durch die Punkte a'', b'', i'', c'', d'' construire man eine entsprechende Curve, so wie auch durch die Punkte h'', g'', i'', f'' und e'' eine desgleichen. Diese zwei Curven sind die zweiten Projectionen von den zwei untern Schraubenlinien dieses Wangenstücks. Und um die zweite Projection der obern Schrau-

benlinien zu erhalten, darf man nur in den Punkten a'', h'', b'', g'', i'', c'', f'', d'' und e'' lothrechte Linien construiren, und diese mit der lothrechten Entfernung der beiden innern oder äussern Schraubenlinien gleich gross machen, dadurch erhält man Punkte für die Projectionen der zwei obern Schraubenlinien.

4) Schreite man zur Bestimmung der Projectionen der Stossfugen dieses Wangenstücks. Diese Stossfugen können eben oder windschief sein. Sollen die Stossfugen eben sein, so können die Durchschnittslinien mit den cylindrischen Seiten der Wange nicht alle normal auf den Kanten der Unter- und Oberseite der Wangen stehen, und die Linien, in welchen die Schraubenlinienflächen geschnitten werden, sind krumme Linien, deren Endpunkte nicht in einerlei horizontalen Ebene sich befinden.

Sollen die Stossfugen aber windschief sein, so lassen sich zwei verschiedene Fälle unterscheiden:

erstens können die Durchschnittslinien dieser Stossfugen mit den cylindrischen Seiten der Wange beide beziehungsweise normal auf den Kanten der Ober- und Unterseite der Wange sein, in welchem Falle die Durchschnittslinie der untern Schraubenlinienfläche der Wange eine krumme Linie ist, deren Endpunkte nicht in einerlei horizontalen Ebene sich befinden, wenn die Durchschnittslinie der obern Schraubenlinienfläche wagerecht, also eine erzeugende Entstehungslinie dieser Fläche ist;

zweitens können beide Durchschnittslinien, in welchen die Stossfuge die untere und die obere Schraubenlinienfläche durchschneidet, eine wagerechte Lage haben, so dass beide Erzeugende jener Schraubenlinienflächen sind; es können aber alsdann die Durchschnittslinien dieser Stossfuge mit den cylindrischen Seiten der Wange nicht mehr beide normal auf den Kanten stehen, welche von den vier Schraubenlinien gebildet werden.

Nehmen wir nun an, dass die Stossfugen des Wangenstücks in diesem letztern Princip angeordnet werden sollten, so verstrecke man einen gewissen Theil der vier Schraubenlinien der Wange, etwa die Hälfte derselben, indem man in Fig. 554 die gerade Linie $a\,b$ gleich lang macht mit dem Bogen $a'\,i'$ Fig. 552,

und $a\,c$ Fig. 554 gleich dem Bogen $h'\,k'$ Fig. 552, sodann in den Punkten a, b und c Fig. 554 gerade Linien normal auf $a\,c$ construirt, die Länge $a\,p = h''\,H''$ Fig. 551 macht, $b\,q = c\,d$ Figur 554 gleich $K''\,M''$ Fig. 551, und endlich $q\,r = d\,s = a\,p$ macht. Wenn man ferner die geraden Linien $p\,r$, $p\,s$, $a\,q$ und $a\,d$ zieht, so stellen diese die vier ausgetragenen Schraubenlinien vor, welche an dem Wangenstück sich befinden.

Aus dem Punkte p construire man nun die Linien $p\,e$ und $p\,n$ beziehlich normal auf $a\,q$ und $a\,d$; diese Linien stellen die Verstreckung der Linien vor, in welchen die Seitenwangen von der Fläche der Stossfuge geschnitten werden. Wenn man daher die Linien $e\,g$ und $n\,f$ normal auf $a\,c$ construirt, den Bogen $a'\,r'$ Fig. 552 gleich $a\,g$ Fig. 554 macht, und $h'\,t'$ Fig. 552 gleich $a\,f$ Fig. 554, den Punkt r' Fig. 552 nach r'' Fig. 551 projicirt, und t' nach t'', so sind H'', A'', r'', t'' die Projectionen der vier Punkte, in welchen die Schraubenlinien von der Fläche der Stossfuge geschnitten werden. Die Seitenflächen des Wangenstücks werden von der Fläche der Stossfuge in Curven geschnitten, von welchen zunächst erst die Endpunkte H'', t'' und A'', r'' ermittelt worden sind, die aber zur Construction jener Curven noch keinesweges genügen; und es ist deshalb nothwendig, dass noch mehrere Zwischenpunkte q'', o'' ermittelt werden, durch welche jene Curven gehen. Zu dem Ende construire man in beliebiger Höhe die gerade Linie $l\,k$ Fig. 554 parallel mit $a\,c$, und in Figur 551 die gerade Linie $q''\,o''$ in derselben Höhe. Die Linie $l\,k$ Fig. 554 schneidet die Linien $p\,e$ und $p\,n$ in den Punkten o und k. Aus diesen Punkten ziehe man die Linien $o\,i$ und $k\,h$ normal auf $a\,c$, trage die Länge $a\,i$ von a' nach o' Fig. 552, so wie $a\,h$ Fig. 554 von h' nach q' Fig. 552, und projicire die erhaltenen Punkte o' und q' auf die Linie $q''\,o''$, und zwar den Punkt o' nach o'' und q' nach q''; alsdann sind q'' und o'' zwei Punkte, durch welche die Curven gehen, in welchen die cylindrischen Seitenflächen der Wange durch die Fläche der Stossfuge geschnitten werden. Auf demselben Wege können beliebig viel Punkte dieser Curven ermittelt werden.

Nachdem die Projectionen der Stossfuge an dem untern Stirnende der Wange ermittelt worden sind, wende man sich zur

Bestimmung der Projectionen der Stossfuge am obern Stirnende der Wange, indem man eben so construirt, wie bei der Bestimmung der untern Stossfuge; und man erhält alsdann in der Figur $A''\ H''\ t''\ r''\ e''\ d''\ D''\ E''$ Fig. 551 die zweite Projection des Wangenstücks zwischen zwei beliebigen Stossfugen.

§. 175.

Wir kommen zur Bearbeitung des Wangenstücks, dessen zweite Projection Fig. 551 vorstellt. Wir construiren diese Figur in Fig. 553 noch ein Mal, und denken durch die äussersten Punkte H'', V'' so wie durch a'' und e'' die geraden Linien $H''\ V''$ und $a''\ e''$: so folgt leicht, dass diese zwei Linien parallel sind. Wir denken ferner aus den Punkten V'' und a'' gerade Linien $V''\ W''$ und $a''\ Q''$ normal auf den parallelen Linien $a''\ W''$ und $H''\ V''$, und construiren ein normales Parallelepipedum, dessen 3 Abmessungen die 3 Längen $a''\ W''$, $W''\ V''$ Fig. 553 und $w'\ k'$ Fig. 552 sind. Die Figur $a\ b\ c_2\ e_2\ f\ g\ h\ k$ Fig. 556 stelle dies rechtwinklige Parallelepipedum vor.

Der Steinmetz beginnt nun die Arbeit damit, dies rechtwinklige Parallelepipedum darzustellen; und nachdem solches geschehen ist, aus dem Parallelepipedum ein Cylinderstück darzustellen, dessen Krümmung der Krümmung des Wangenstücks entspricht. Um dies Cylinderstück darstellen zu können, bedarf der Arbeiter der Schablone von der untern Bettung. Diese Schablone ist in Fig. 555 ausgetragen worden, und zwar in folgender Weise:

Man mache die Länge $l\ a$ Fig. 555 gleich $l''\ a''$ Fig. 553, $l\ u$ Fig. 555 gleich $l''\ u''$ Fig. 553, $l\ v = l''\ v''$ und $l\ w = l''\ w''$. In den Punkten l, u, v und w errichte man sodann Normalen $l\ h$, $u\ g$, $v\ b$ und $w\ k$ auf $l\ w$, und mache dieselben beziehlich gleich lang mit $l'\ h'$, $u'\ g'$, $v'\ b'$ und $w'\ k'$ Fig, 552; verbinde die Punkte a und h durch eine gerade Linie, die Punkte h, g und k aber, so wie auch a, b und i durch entsprechende Curven: die hervorgehende Figur stellt die Schablone der untern Bettung des Steins zur Hälfte vor. Ganz eben so erhält man die andere Hälfte $i\ c\ d\ e\ f\ k$ dieser Schablone.

Um nun mit Hülfe dieser Schablone das Cylinderstück aus dem Parallelepipedum darzustellen, wird die Länge $e_2\ l_2$ Fig. 556 gleich $Q''\ H''$ Fig. 553 gemacht, die Länge $l_2\ n$ Fig. 556 gleich

l a Fig. 555, und die in Fig. 555 dargestellte Schablone so auf den Stein gelegt, dass der Eckpunkt *a* derselben in *n* und der Eckpunkt *d* in *k* falle. Die Figur *n H p s r k l* stellt alsdann die Lage der Schablone vor. Es ist einleuchtend, dass die Schablone zufolge ihrer Construction länger als das Parallelepipedum ist, und dass sie dieserhalb um einen Theil *k s r* über das Parallelepipedum hinwegreichen muss.

Nachdem der Umriss der Schablone auf der obern Ebene des Steins vorgezeichnet worden ist, geschieht dasselbe auf der untern Ebene desselben, mit dem Unterschiede nur, dass die Schablone mit dem Eckpunkte *a* Fig. 555 in den Eckpunkt *a* des Parallelepipedums Fig. 556 gelegt wird, so dass dieselbe auf dieser Seite um dasselbe Stück über den Stein hinwegreicht, um welches dies auf der obern Seite am andern Ende des Steins geschah.

Es darf nicht übersehen werden, dass dies Cylinderstück nicht dem normalen Cylinder entspricht, sondern dem schiefen Cylinder, und dass dieserhalb die Parallelen des Cylindermantels eine geneigte Lage gegen die Grundebenen erhalten. Zur Bearbeitung des Steins gebraucht aber der Arbeiter die Richtung jener Parallelen, damit er während der Bearbeitung das Richtscheit in dieser Richtung wiederholt anlegen könne. Um nun die Richtung dieser Parallelen zu erhalten, trage man die Länge *a'' w''* Fig. 553 von *a* nach *w* und von *n* nach *q* Figur 556; die gerade Linie *w q* ist alsdann die Richtung der Parallele des Cylindermantels. Zieht man ferner in den Grundebenen des Steins die geraden Linien *w x* und *p q* parallel mit *a b* und $e_2 c_2$, und verbindet man die Punkte *x* und *p*, in welchen die Kanten *b g* und $c_2 h$ des Steins geschnitten werden, durch eine gerade Linie *x p*, so stellt diese die Parallele des Cylinderstücks in der äussern Rundung vor.

Es ist einleuchtend, dass die Punkte *x* und *p* mit dem Punkt *k* des Bogens *h e* Fig. 555 zusammenfallen müssen, welcher den Bogen *h e* in zwei gleiche Theile theilt. Wenn man daher auf der Schablone den Punkt *k* andeutet, so erhält man die Punkte *x* und *p* ohne Weiteres mit Hülfe der Schablone.

Nachdem die Grundebene des Cylinderstücks und die Rich-

tung der Parallelen auf dem Steine vorgeschrieben worden sind, bearbeitet nun der Steinmetz die gekrümmten cylindrischen Seitenflächen des Steins, wobei derselbe jetzt keine Schwierigkeiten weiter finden wird.

Mit diesem Cylinderstück ist aber noch keinesweges das verlangte Wangenstück vollständig dargestellt, denn die obern und die untern gekrümmten Kanten des Cylinderstücks oder die Richtungslinien desselben sind Curven einfacher Krümmung, wogegen diese Kanten des Wangenstücks Schraubenlinien vorstellen.

Durch die Bearbeitung des Cylinderstücks $n\,a\,d_2\,k\,s\,p\,H$ Figur 556 sind zunächst erst die innere und die äussere cylindrische Fläche des Wangenstücks gewonnen; die obere und die untere Schraubenfläche fehlen aber noch. Um nun auch diese darzustellen, construire man an dem fertig bearbeiteten Cylinderstück mehrere Parallelen des Cylinders, und setze auf denselben diejenigen Punkte fest, durch welche die Schraubenlinien gehen. Zu dem Ende darf man nur aus der zweiten Projection des Wangenstücks, welche Fig. 553 vorstellt, die Höhen abnehmen, um welche die Schraubenlinien sich über die untern Richtungslinien des Cylinderstücks erheben, deren zweite Projection die gerade Linie $a''\,w''\,e''$ Fig. 553 vorstellt, oder um wie viel die Schraubenlinien sich gegen die obern Richtungslinien, deren zweite Projection die gerade Linie $Q''\,V''$ ist, senken.

In Fig. 557 stellt die Figur $s\,k\,d_2\,c_2\,i_2\,b_2\,a\,A\,H$ das bearbeitete Cylinderstück vor; $a\,\alpha\,b_2\,i_2\,c_2\,d_2$ die ebene gekrümmte Unterkante und $n\,m\,l\,h\,k$ die ebene gekrümmte Oberkante der innern cylindrischen Fläche. In der äussern gekrümmten Cylinderfläche stellen $e\,f_2\,g_2\,\delta\,y_2$ und $H\,o\,p\,q\,s$ die ebenen gekrümmten Unter- und Oberkanten dieses Cylinderstücks vor. Um nun die Lage der vier Schraubenlinien zu erhalten, ziehe man aus den Punkten t'', r'', g'', b'', i'', d'' Fig. 553 die lothrechten Linien $t''\,\gamma''$, $r''\,\alpha''$, $g''\,u''$, $b''\,v''$, $i''\,w''$, $d''\,\varphi''$ bis an die Linie $l''\,W''$ heran. Die Linie $l''\,W''$ ist die zweite Projection von den zwei ebenen Richtungslinien des Cylinderstücks, und es drücken daher jene lothrechten Längen $t''\,\gamma''$, $r''\,\alpha''$, $g''\,u''$ u. s. f. die Entfernungen aus, um welche die beiden untern Schraubenlinien in den betreffenden Punkten sich über die ebenen Richtungslinien des Cylinderstücks

erheben, diese Entfernungen in der Richtung der Parallelen des Cylinders gemessen. Um daher den Punkt i der untern innern Schraubenlinie zu erhalten, darf man nur die Länge $a\,w$ Fig. 557 gleich lang mit $a''\,w''$ Fig. 553 machen, $w\,i_2$ normal auf $a\,d_2$ construiren und ihre Länge gleich $w\,i$ Fig. 555 machen; sodann die Linie $i_2\,l$ parallel mit $d_2\,k$ ziehen, und auf dieser $i_2\,i$ gleich lang mit $w''\,i''$ Fig. 553 machen: der so erhaltene Punkt i ist ein Punkt dieser Schraubenlinie. Auf demselben Wege werden alle übrigen Punkte der Schraubenlinien ermittelt.

Um noch die beiden Stossfugen der Wange festzustellen, mache man die Länge $a\,\beta$ Figur 557 gleich lang mit $a''\,\alpha''$ Figur 553, ziehe $\beta\,\alpha$ normal auf $a\,d_2$, und aus dem Punkt α, in welchem die Richtungslinie des Cylinders von dieser Normale geschnitten wird, ziehe man $\alpha\,r$ parallel mit $a\,n$, einer Seite der Cylinderfläche, und mache $\alpha\,r$ gleich lang mit $\alpha''\,r''$ Figur 553.

Man mache ferner $a\,\gamma$ Fig. 557 gleich lang mit $a''\,\gamma''$ Figur 553, ziehe $\gamma\,\delta$ Fig. 557 normal auf $a\,d_2$, und $\delta\,t$ parallel mit y_2 H oder $a\,A$; man mache sodann $\delta\,t$ gleich $\gamma''\,t''$ Fig. 553, und $n\,A$ Fig. 557 gleich $n''\,A''$ Fig. 553: die Punkte r, t, H, A sind alsdann die vier Punkte, in welchen die Schraubenlinien von der untern Stossfuge geschnitten werden. Auf demselben Wege wird die Lage der obern Stossfuge festgesetzt.

Von den freitragenden Treppen mit geraden oder krummen Armen.

§. 176.

Fig. 559 Taf. XXXXVII. ist der Grundriss einer freitragenden Treppe mit drei geraden Armen und zwei Ruheplätzen; Figur 562 ist ein verticaler Durchschnitt durch den ersten Arm und den ersten Ruheplatz, Fig. 561 ist eine Ansicht des dritten Armes und Figur 560 eine gerade Ansicht der ganzen Treppe. Jeder Treppenarm bildet ein für sich bestehendes scheitrechtes Gewölbe, welches in den Podestplatten das feste Widerlager findet. Die untere Fläche der Treppe unter den drei Treppenarmen ist eine stetig zusammenhängende ansteigende Ebene. Alle Constructionen gehen aus den Figuren deutlich hervor, und bedürfen daher keiner weitern Erklärung.

Sämmtliche Stufen erhalten in der Mauer ein 3 bis 4 Zoll breites Auflager, die Podestplatten aber ein Auflager von 12 Zoll und darüber, da von der festen Lagerung der Podeste die Erhaltung der Treppe abhängt. Aus diesem Grunde unterstützt man auch wohl die Podeste durch Tragsteine oder durch Säulen von Gusseisen.

Der untere Treppenarm erhält ein festes Fundament, worauf eine breite Antrittsstufe zu liegen kommt, damit dieselbe den Schub, welcher aus dem scheitrechten Gewölbe der Stufen hervorgeht, gleichmässig vertheile.

Die drei Treppenarme der in Fig. 559 dargestellten Treppe endigen auf der innern Seite in geraden Linien, welche normal auf einander stehen. Diese geraden Linien können aber auch ganz füglich durch Kreisbogen mit einander verbunden werden, wie Fig. 558 im Grundriss zeigt. Da wir in diesem Falle angenommen haben, dass der zweite Treppenarm nur drei Treppenstufen habe, theilen wir den Halbkreis $a\,d\,g$ in sechs gleiche Theile, und ordnen die letzte Stufe des ersten Treppenarmes, so wie die zweite Stufe des dritten Treppenarmes, in der Art an, dass die erste Projection der Vorderflächen derselben durch den Mittelpunkt m des Halbkreises $a\,d\,g$ geht, und beide Projectionen in eine gerade Linie zu liegen kommen. Damit nun die Podestflächen in der Nähe des Halbkreises $a\,d\,g$ noch eine gewisse Grösse des Auftritts behalten, ziehe man durch den Theilpunkt b und durch den Mittelpunkt m die gerade Linie $m\,h$, trage die Länge $b\,h$ von h nach i und ziehe $i\,k$ normal auf $l\,h$ und $b\,k$ normal auf $m\,h$: alsdann ist der Durchschnittspunkt k dieser beiden Linien der Mittelpunkt des Kreisbogens $i\,b$, welcher nun beschrieben werden kann. Auf ähnlichem Wege werden die übrigen Kreisbogen erhalten, welche von den Podestplatten in der Nähe ihrer inneren Ecke gebildet werden.

§. 177.

Fig. 563 ist der Grundriss einer freitragenden Treppe mit krummen Armen. Die Treppen von dieser Art erhalten gewöhnlich den Namen freitragende Treppen mit einer runden Oeffnung in der Mitte. Diese Treppen können eine Wendung, oder eine beliebige Anzahl von Wendungen machen, und erhalten Ruheplätze

oder nicht; sie sind mit oder ohne Wangen. Diese Treppen sind kreisförmig oder elliptisch, je nachdem die innere Form des Treppenhauses kreisrund oder elliptisch ist; welche Form aber auch die runden Treppen haben mögen, in jedem Falle müssen die ersten Projectionen von den Vorderseiten der Stufen durch den Mittelpunkt des Treppenhauses gehen. Die Eintheilung der Treppenstufen wird auf dem mittlern Bogen A B C gemacht, in welchem jede Stufe einen 12 Zoll breiten Auftritt haben muss, wenn die Höhe jeder Stufe oder die Steigung 6 Zoll beträgt. Und damit die Stufen an ihrem innern Stirnende nicht zu wenig Auftritt bekommen, muss die Länge jeder Stufe stets geringer sein, als der dritte Theil der lichten Weite des Treppenhauses.

Sämmtliche Stufen erhalten in der Mauer ein Auflager von 4 Zoll Breite und darüber.

Der Querschnitt der Treppenstufen hat entweder die Form, welche Fig. 564 und Fig. 565 zeigen, oder es hat derselbe die Form von Fig. 568. Im erstern Falle bildet die untere Fläche der Stufen eine stetig zusammenhängende Schraubenlinienfläche oder Spiralfläche, und im zweiten Falle eine gebrochene Spiralfläche.

Fig. 564 stellt die Verstreckung der innern Stirnfläche einer beliebigen Anzahl von Stufen vor, und Fig. 565 die Verstreckung der äussern Stirnfläche, welche in der Mauer sich befindet. Um die Fig. 564 zu construiren, trage man auf der geraden Linie D E die innere Breite $a\,c$ des Auftritts einer Stufe mehrere Male auf, indem man $z\,t = t\,g = g\,h = h\,l$ gleich der Länge des Bogens $a\,c$ Fig. 563 macht. In den erhaltenen Punkten construire man Normalen auf D E, und trage darauf die Steigung der Stufen. Die Länge $r\,o$, um welche eine Stufe die andere überdeckt, nehme man $\frac{1}{2}$ Zoll bis 1 Zoll an, und beschreibe aus dem Punkte o mit einem Radius von 4 bis 6 Zoll Länge einen Kreisbogen. Dieselbe Construction werde an der obern Stufe ausgeführt, indem man aus dem Punkte v einen Kreisbogen mit 4 bis 6 Zoll Radius beschreibt. Tangential zu beiden Kreisbogen construire man nun die gerade Linie $t\,u$, und ziehe $o\,p$ und $v\,w$ normal auf derselben: die gerade Linie $t\,u$ stellt alsdann die Verstreckung der innern Schraubenlinie vor, und $o\,p$ die Breite der Lagerfuge zwi-

schen zwei Treppenstufen. Auf ähnlichem Wege werden die Lagerfugen der übrigen Treppenstufen ermittelt.

Nachdem auf diese Weise die Verstreckung der innern Stirnfläche der Stufen construirt worden ist, wende man sich zur Bestimmung der vollständigen ersten Projection irgend einer Treppenstufe, etwa der dritten in Figur 563. Zu dem Ende mache man $a\,n$ Fig. 563 gleich der obern Stufenbreite $k\,o$ Fig. 564, und $n\,e$ Fig. 563 gleich der Entfernung des Punktes p Fig. 564 von einer durch den Punkt o gedachten lothrechten Linie, also gleich der ersten Projection der Fuge $o\,p$; durch den Mittelpunkt M der Treppe und durch den Punkt e ziehe man sodann die gerade Linie $e\,m$, und aus n die Linie $n\,d$ parallel mit $e\,m$: die Figur $a\,b\,m\,e$ ist alsdann die vollständige erste Projection der dritten Treppenstufe. Zieht man die Linie $n\,d$ in einer Richtung, welche durch den Mittelpunkt M geht, so dass sie also nicht mehr parallel mit $e\,m$ wäre, so würde die Fläche der Lagerfuge, deren erste Projection die Figur $n\,e\,m\,d$ vorstellt, eine windschiefe Ebene sein. Aber zwei windschiefe Ebenen so zu bearbeiten, dass sie auf einander gelegt, in allen Punkten innig sich berühren, ist stets eine schwierige Aufgabe; und es ist deshalb bei weitem zweckmässiger, die Linie $n\,d$ parallel mit $e\,m$ zu construiren, um die Lagerfuge zweier Treppenstufen als Ebene darstellen zu können.

Nachdem die erste Projection einer Treppenstufe vollständig ermittelt worden ist, wende man sich zur Verstreckung der grössern Stirnenden der Stufen. Zu dem Ende mache man Figur 565 die Längen $g\,h$, $h\,l$, $l\,x$ und $x\,y$ einzeln gleich lang mit $b\,f$ Fig. 563, $c\,k$ Fig. 565 gleich $b\,d$ Fig. 563, den Winkel $c\,k\,q$ Fig. 565 gleich dem Winkel $k\,o\,p$ Fig. 564 und die Länge $k\,q$ Figur 565 gleich $o\,p$ Figur 564: so stellt $i\,k$ die grösste Ueberdeckung der Stufen vor und $k\,q$ die Breite der Lagerfuge zweier Stufen. In derselben Weise erhält man die Kopfbrettung der übrigen Stufen und dadurch die gerade Linie $v\,s$, welche die Verstreckung der äussersten Schraubenlinie vorstellt, von welcher die Spiralfläche der Treppe begrenzt wird.

Um die Treppenstufen zu bearbeiten, bedient der Arbeiter sich der in Fig. 564 und Fig. 565 ausgetragenen beiden Stirn-

schablonen der Stufen, und stellt jede Stufe zunächst als Cylinderstück dar, wie Fig. 566 solches zeigt. Nachdem dies Cylinderstück vollständig bearbeitet ist, wird an beiden Stirnenden der Umriss der Stirnschablone vorgeschrieben, und danach die Stufe so bearbeitet, wie Fig. 567 dieselbe zeigt.

Von den freitragenden Treppen mit Wangen.

§. 178.

Fig. 569 Tafel XXXXVIII. ist der Grundriss einer freitragenden Treppe mit drei geraden Armen und zwei Ruheplätzen, und Fig. 570 ist eine gerade Ansicht derselben. Der Fugenschnitt der Stufen dieser Treppen ist derselbe, wie der Fugenschnitt der freitragenden Treppen ohne Wange; und nur die Anordnung der Wange, welche auf der innern Seite der Treppe sich befindet, ändert das Princip der Structur. Dies Princip ist entweder das, welches Fig. 570 deutlich zeigt, wo die Wangensteine unter sich ein scheitrechtes Gewölbe bilden, indem die Fugen dieser Steine in dem Punkte *M* sich schneiden. Die Wangensteine bestehen aber nicht für sich, sondern jeder Wangenstein ist mit der zugehörigen Treppenstufe, an deren innern Stirnende derselbe sich befindet, aus einem Block dargestellt. Die innere Stirnschablone einer Treppenstufe hat alsdann die Form von Fig. 571.

Ein zweites Princip der Anordnung der Wangensteine zeigt Figur 572. Die Fugen der Wangensteine schneiden sich hier nicht in einem gemeinschaftlichen Punkte, sondern sie sind parallel, indem sie auf der untern oder der obern Ebene der Wange normal stehen. Die vollständig bearbeitete Stufe einer in diesem Princip aufgeführten Treppe hat die Form, welche Fig. 574 zeigt, wenn der normale Querschnitt der Stufen die Form der Fig. 575 hat. Fig. 577 zeigt die innere Kopfbrettung jeder Stufe.

Drittens können die einzelnen Treppenstufen so dargestellt werden, wie Fig. 573 zeigt. Jede Treppenstufe erhält nämlich einen vorspringenden Haken mit horizontaler Fuge. Figur 576 zeigt die Stirnschablone einer in diesem Princip construirten Treppenstufe.

Es kann wohl nicht in Abrede gestellt werden, dass, wenn

die Treppenstufen nur wenig sich senken oder setzen, alsdann die an den Stufen befindlichen Haken abbrechen müssen, weshalb dieses Princip eben nicht zu empfehlen ist.

Wenn ein Treppenarm nicht lang ist, kann die Wange auch in dem Princip der Holzconstruction ausgeführt werden, wo alsdann die Wange für sich besteht, und die Treppenstufen ihr Lager in der Wange erhalten.

§. 179.

In Fig. 580 haben wir eine freitragende Treppe mit runder Oeffnung in der Mitte dargestellt, deren innere Seite mit einer Wange versehen ist. Fig. 578 stellt die Verstreckung der innern Seite der Wangensteine vor, und Fig. 579 die Verstreckung der äussern Stirnfläche der Stufen.

Zwölftes Kapitel.

Abbrettung der Säulen, der Gesimse und der Giebel, und vom Versetzen der Steine.

§. 180.

Die Abbrettung der Säulen, der Gesimse und der Giebel muss einem doppelten Zweck entsprechen, nämlich der Festigkeit der Steine, welche verwendet werden, und zweitens der Verzierung derselben.

Die Säulen können aus drei Stücken dargestellt werden, von welchen das untere den Säulenfuss enthält, das zweite den Säulenschaft und das dritte das Kapitäl. Wenn aber die Dicke der Steine, die man hat, und die Dimensionen des Säulenschaftes nicht gestatten, den letztern aus einem einzigen Stein herzustellen, so wird derselbe aus mehreren Steinen gebildet. Es kann aber nicht genug empfohlen werden, die Lager der Säulenstücke gut zuzurichten, damit sie in ihrer ganzen Ausdehnung tragen; alle Fugen sorgfältig glatt zu schleifen, damit eine innige Berührung der Flächen der auf einander liegenden Steine Statt finde. Sind die Lager auch nur ein klein wenig hohl gearbeitet worden, so tragen die Säulenstücke nur auf den Kanten, welche nothwendig von der grossen Last, welche die Säulen zu tragen haben, zerspringen müssen.

Bei der Abbrettung der Hauptgesimse müssen die Fugen so vertheilt werden, dass sie in den Schatten der Gesimsglieder fallen, und man construirt deshalb das Hauptgesims gewöhnlich aus 3 Steinschichten, von welchen die untere den Architrav einnimmt, die mittlere den Fries und die obere Steinschicht den Kranz.

Wenn das Hauptgesims von einer Mauer getragen wird, so findet die Abbrettung des Architravs und des Frieses keine Schwierigkeiten weiter. Was aber die Abbrettung des Kranzes anbetrifft,

so muss darauf gesehen werden, dass die Steine, welche das Kranzgesims bilden, auf der Mauer ein hinreichend breites Lager haben, damit ein Ueberkippen derselben nicht Statt finden könne. Dies Auflager muss immer so breit sein, dass der Schwerpunkt des Steins hinreichend unterstützt werde. Es genügt in den meisten Fällen, wenn die Breite des Auflagers dem Vorsprunge des Kranzes gleich gemacht wird. Wäre aber die Dicke der Mauer geringer als der Vorsprung des Gesimses, so muss der auf der Mauer ruhende Theil der Gesimssteine entweder durch eine Aufmauerung hinreichend beschwert werden, oder man muss durch eine künstliche Verankerung die feste Lagerung zu sichern suchen. Besonders nothwendig ist dies bei den Steinen, welche auf den Ecken die Wiederkehrung bilden.

Wird aber das Hauptgesims von Säulen getragen, so wird der Architrav bei kleinen Zwischenweiten auf die Länge von Säule zu Säule aus einem einzigen Stein gebildet, und bei grössern Zwischenweiten der Säulen aus mehreren einzelnen Steinen, welche unter sich zwischen je zwei Säulen ein scheitrechtes Gewölbe bilden. Da aber in diesem Falle auf den Ecken des Gebäudes dem scheitrechten Gewölbe das Widerlager mangeln würde, muss hier durch eine Verankerung von der Art, wie in Fig. 293 und Figur 294 Tafel XXI. gezeigt wurde, das Gewölbe gesichert werden.

Die Friessteine dürfen in diesem Falle nicht die ganze Breite des Architravs einnehmen, dadurch würde eine zu grosse Last für den Architrav hervorgehen; sondern es muss der Fugenschnitt der Friessteine und der Steine des Kranzes in einem solchen Princip angeordnet werden, dass die gesammte Belastung den Säulen zugeführt wird, welches man dadurch erreicht, dass man auf den Ecken und über jeder Säule sogenannte Friesbinder auf den Architrav legt, deren Dicke der Breite des Architravs und deren Länge ungefähr dem obern Säulendurchmesser gleich ist. Zwischen je zwei Friesbinder wird dann zur Ausfüllung des Frieses eine 6 Zoll starke Steinplatte auf die hohe Kante gestellt, welche unterhalb und oberhalb etwas hohl gearbeitet ist, und die in den beiden Stirnenden nicht mit verticalen Fugen, sondern mit keilartigen Centralfugen gegen die Friesbinder stösst, damit

diese Friesplatte nur von den Friesbindern getragen werde, ohne den Architrav in seiner Mitte zu belasten. Und damit die Steine des Kranzes ein gehöriges Auflager finden, wird von einem Friesbinder zum andern hinter der Friesplatte ein Entlastungsbogen aus Mauersteinen aufgeführt, auf welchem die Steine des Kranzes ruhen.

Bei kleinen Zwischenweiten der Säulen kann jener Entlastungsbogen auch wegbleiben, es müssen aber alsdann die Steine des Kranzes so lang gewählt werden, dass sie mit ihren Stirnenden auf die Friesbinder zu liegen kommen, ohne die Friesplatten zu beschweren, welche ihrer geringen Dicke wegen zum Tragen durchaus nicht geeignet sind.

Was die Abbrettung des Giebels anbetrifft, so muss man suchen, diese in der Art zu treffen, dass die Last des Giebels ebenfalls den Säulen zugewiesen werde. Man erreicht dies auf einfachem Wege vermittelst Bindersteine, welche in der Richtung der Säulen auf die Steine des horizontalen Kranzgesimses gelegt werden; die Zwischensteine des Giebels erhalten dann horizontale Fugen mit einem Spund auf jeder Stirnseite.

Die Steine des schräg ansteigenden Kranzgesimses erhalten Stossfugen, deren Richtung auf der Richtung des ansteigenden Kranzes normal steht; und jeder Stein auf der Ecke nimmt einen Theil des horizontalen Kranzes auf, so wie auch einen Theil des schräg ansteigenden Kranzes. Die Spitze des Giebels wird von einem gemeinschaftlichen Schlussstein eingenommen, welcher unterhalb ein horizontales Lager hat, an beiden Seiten aber auf der Richtung der Gesimsglieder normal stehende Stossfugen.

Aehnlich werden kleinere Gesimse abgebrettet. Es muss jedoch noch bemerkt werden, dass schwache Gesimssteine ausserordentlich leicht zerbrechen, wo dies möglich ist. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn irgend eine Fensteröffnung unterhalb von einem Gesimsstein eingenommen wird, dessen beide Stirnenden in den Fensterschäften vermauert werden. Wird ein solcher Gesimsstein sogleich nach seinem Versetzen untermauert, so findet ein ungleich vertheilter Druck auf den Stein Statt, ein mächtiger Druck auf die beiden Stirnenden, und ein entgegengesetzter in

der Mitte des Steins; weshalb ein Zerbrechen desselben nur zu leicht möglich ist.

Dergleichen Gesimssteine dürfen nur dann erst untermauert werden, wenn alles Mauerwerk hinreichend sich gesetzt hat. Aus demselben Grunde müssen die Steine der Band- oder Gurtgesimse bei einer Pfeilerarchitectur innerhalb der Pfeiler für sich bestehen, so wie auch innerhalb der Zwischenweiten derselben, denn die Masse der Pfeiler ist einem grössern Setzen unterworfen, als die Masse der Zwischenweiten, welche meistentheils grosse Oeffnungen erhalten; und es müssen deshalb die Stossfugen der Gesimssteine hier so angeordnet werden, dass der Gesimsstein im Pfeiler das Setzen desselben theilen kann, ohne dies Bestreben den nebenliegenden Steinen mittheilen zu können.

Vom Verlegen der Steine.

§. 181.

Unter Verlegen oder Versetzen der Steine versteht man die Art und Weise, wie jeder einzelne Stein an dem Ort seiner Bestimmung dem Musterriss entsprechend aufgestellt und mit den übrigen Steinen verbunden wird. Das Verlegen der Steine einer geraden Mauer findet keine erheblichen Schwierigkeiten. Die Fundamentmauern, auf welchen die Schnittsteine verlegt werden sollen, werden gehörig abgeglichen und geebnet. Sodann wird auf denselben eine Lage Mörtel von 4 bis 6 Linien Dicke ausgebreitet, der Stein auf Walzen herangebracht und auf das zubereitete Mörtelbett so gelegt, dass die Aussenseite des Steins genau in die Seite der Mauer zu liegen komme. Hierauf wird der Stein vermittelst einer kleinen Handramme, welche unten nicht mit Eisen beschlagen werden darf, behutsam angerammt, bis derselbe nicht weiter nachgiebt; dadurch wird der überflüssige Mörtel herausgepresst.

Damit die Richtung der Mauer nicht verfehlt werde, müssen zunächst die Ecksteine versetzt werden, an welchen man in der Aussenseite eine Schnur befestigt, die dem Setzer dazu dient, die übrigen Steine nach gerader Richtung zu versetzen.

In den Stossfugen müssen die Steine scharf an einander gedrückt werden, nachdem auch hier eine feine Lage Mörtel oder Kittmasse ausgebreitet worden ist. Ist das Legen einer Steinschicht vollendet, so ebnet man das obere Lager derselben sowohl der Länge als der Breite nach gut ab, und fährt auf ähnliche Weise fort, neue Schichten auf einander zu legen.

§. 182.

Bei hohen Mauern können die Steine nicht weiter auf Walzen auf ihr Lager gebracht werden, sondern sie werden vermittelst Hebezeug und Winde hoch gewunden, und so auf die Mauer gebracht. Um nun das Windetau an dem Steine befestigen zu können, welcher hoch gewunden werden soll, bedient der Steinmetz sich der Scheere. Dieselbe ist von Eisen, und besteht nach Fig. 15 Taf. I. aus dem Mittelstück *d*, den keilförmigen Seitenstücken *e* und *f*, dem Bügel *m*, und dem Bolzen *n*, welcher jene vier Stücke als Ganzes verbindet.

Die Scheere wird in dem sogenannten Scheerloche, welches im obern Lager des Steins angebracht wird, befestigt. Dies Scheerloch erhält nach Maassgabe der Scheere zur Breite $\frac{5}{4}$ Zoll bis $1\frac{3}{4}$ Zoll, zur obern Länge 3 bis 5 Zoll, zur untern $4\frac{1}{2}$ bis 8 Zoll, und zur Tiefe 6 bis 11 Zoll. Ein schwerer grosser Stein erfordert eine grössere Scheere, also auch ein grösseres Scheerloch. Wobei jedoch die absolute Festigkeit des Steins nicht übersehen werden darf, indem dieselbe stets gross genug sein muss, damit nicht etwa das eigene Gewicht des Steins im Stande sei, während des Hochwindens desselben, die Scheere durch Ausbrechen des Scheerloches herauszusprengen. Fälle dieser Art kommen zuweilen bei dem lagerreichen weichen Magdeburger Sandsteine vor, und insbesondere beim Abbruch alter Gebäude, wo der Sandstein durch den Zahn der Zeit bereits sehr mitgenommen worden ist.

Um die eiserne Scheere in das Scheerloch einbringen zu können, wird dieselbe auseinander genommen, indem man den Bolzen *n* herauszieht. Nachdem dies geschehen ist, bringt man die beiden Seitenstücke *e* und *f* einzeln in das Scheerloch, schiebt das mittlere Parallelepipedum *d* zwischen beide, legt den Bügel an, und führt den Bolzen *n* durch diese vier Stücke hindurch;

damit ist die Scheere als Ganzes wieder hergestellt. Damit nicht etwa der Bolzen *n* beim Anzuge des Windetaues herausspringen könne, wird durch denselben der Vorschiebekeil *o* geschoben, welcher unten aus zwei Federn besteht.

Gewöhnlich hält man das Scheerloch etwas grösser als die Scheere, und es verbleibt daher zwischen dem Eisen und dem Steine ein Zwischenraum, welchen man mit trocknem feinem Sande ausfüllt, wodurch die Scheere einen festen Anschluss an den Stein gewinnt. Nachdem die Scheere in dieser Art im Stein befestigt worden ist, bringt man den Haken des Windetaues in den Bügel *m*, und lässt den Stein hochwinden.

Ist der Stein etwa so schwer, dass ein Ausspringen des Scheerloches zu befürchten wäre, so wird der Stein noch mittelst Seilen fest umschlungen, und der Haken des Windetaues an denselben befestigt.

Es ist keinesweges gleichgültig, wo das Scheerloch angebracht wird, denn es ist Erforderniss, dass das untere Lager des Steins während des Hochwindens eine horizontale Lage annehme, damit beim Niederlassen desselben nicht etwa die Kanten abgestossen werden können. Aus diesem Grunde muss bei einem prismatischen Stein das Scheerloch durch den Schwerpunkt der obern Grundebene gehen.

§. 183.

Das Verlegen der Gewölbsteine erfordert eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Vorsicht, damit nicht allein jeder Stein den Ort einnehme, welchen der Musterriss demselben vorschreibt, sondern auch alle Gewölbsteine ohne Zwischenlagen von hölzernen Keilen oder Mörtel unmittelbar mit ihren Lagerfugen auf einander gelegt werden. Dergleichen Zwischenlagen werden nach Wegnahme des Bogengerüstes nur zu leicht zerdrückt, in Folge dessen ein bedeutendes Setzen der Gewölbsteine erfolgen muss, so wie ein Zerspringen derjenigen Gewölbsteine, welche nicht gleichmässig auf ihren Lagern ruhen. Welche Vorrichtungen nun zu treffen sind, und welche Mittel angewendet werden müssen, um jeden Gewölbstein richtig versetzen zu können, das ist daher eine Frage von besonderer Wichtigkeit.

Wir denken ein Tonnengewölbe Fig. 581, dessen Gewölbsteine versetzt werden sollen, und setzen voraus, das Bogengerüst, worauf man die Gewölbsteine versetzen wolle, sei richtig aufgestellt, und die Mauern, welche als Widerlager dienen, seien bis zum Kämpfergesims oder dem Gewölbeanfang aufgeführt und gehörig geebnet worden.

Damit nun die Steine regelrecht versetzt werden können, beginne man damit, an jeder Stirnfläche des Gewölbes einen glatt bearbeiteten geraden Balken *A B* Fig. 581 in der Art zu befestigen, dass dessen obere Ebene eine horizontale Lage annehme, und mit der Ebene des Gewölbeanfanges zusammenfalle. Auf diesem Balken bezeichne man die Punkte, in welchen die Wölbung beginnen soll, deren Entfernung von einander sonach der lichten Weite des Gewölbes gleich sein muss. Diese Punkte dienen als Anfangspunkte der Abscissen der innern Oberkanten der verschiedenen Steinschichten des Gewölbes.

Wenn die Dimensionen eines Gewölbes nicht sonderlich gross sind, können diese Abscissen der inneren horizontalen Leibungsfugen aus dem Musterrisse entnommen werden; bei grössern Gewölben müssen aber besondere Tabellen angefertigt werden, in welchen jeder Stein mit seiner laufenden Nummer einzeln aufgeführt wird, so wie die Maasse der Abscisse und der zugehörigen Ordinate der innern Oberkante der Leibung, als Abstand der letztern von der reinen Mauer der Widerlager und von der horizontalen Ebene, welche durch den Gewölbeanfang geht. Die Maasse dieser Coordinaten werden aus den Mittelpunktswinkeln der verschiedenen Gewölbschichten berechnet. Gesetzt es sollte das in Fig. 581 vorgestellte Tonnengewölbe 13 Gewölbschichten erhalten, und alle Steine sollten in der Leibung gleiche Breite haben, so darf man nur 180° durch die Zahl 13 dividiren, der Quotient $\frac{180^\circ}{13} = 13\frac{11}{13}$ Grad ist der Mittelpunktswinkel jedes Steins. Der Kürze wegen wollen wir diesen Winkel mit α und den innern Radius des Gewölbes mit r bezeichnen; alsdann drückt $r \cdot \text{Sin.}\,\alpha$ die Ordinate der innern Oberkante der Leibung am Anfänger aus, und $r - r\,\text{Cos.}\,\alpha$ die zugehörige Abscisse. Für die

zweite Steinschicht wäre die Ordinate $= r \text{ Sin. } 2\alpha$, und die zugehörige Abscisse $= r - r \text{ Cos. } 2\alpha$ u. s. f.

Diese Abscissen trage man auf den Balken *A B*, Fig. 581, bezeichne die Endpunkte derselben in den Seitenebenen des Balkens durch Punkte 1, 2, 3, 4, 5, 6, und construire durch jeden Punkt eine lothrechte Linie. Die Ordinaten trage man aber auf eine Messlatte *C D* Fig. 581, nachdem man vorher diese Höhen um so viel vergrössert hat, als nach Maassgabe der Stelle, welche der betreffende Stein im Gewölbe einnehmen soll, von dem Setzen des ganzen Gewölbes auf denselben kommen würde.

Durch diese Vorrichtung wird man in den Stand gesetzt, die richtige Lage der inneren Oberkanten jedes Steins mit Sicherheit feststellen zu können. Damit ist aber noch keinesweges auch die Richtung der Lagerfuge bestimmt, insofern zur Bestimmung einer Ebene immer 3 Punkte gehören, welche nicht in einer geraden Linie sich befinden, oder zwei sich schneidende Linien, oder zwei parallele Linien. Wenn man daher noch für die äussere Oberkante jedes Steins die Abscisse und die Ordinate berechnete, so würde man durch diese die richtige Lage jener Oberkante bestimmen und damit die richtige Lage des Steins festsetzen können.

Weit zweckmässiger ist es aber, die Neigung der Lagerfugen vermittelst eines Instrumentes zu bestimmen, welches Fig. 582 im grössern Maassstabe vorstellt. Dies Instrument wird Inclinator genannt und besteht aus einem hölzernen Rahm *FGHE*, dessen Seiten einzeln genommen gegen $2\frac{1}{2}$ Fuss lang, 4 Zoll breit und 2 Zoll dick sind. Auf diesem Rahm befindet sich ein hölzernes Ringstück *I K*, von 4 bis 6 Zoll Breite und 1 Zoll Dicke, welches zwei Abtheilungen enthält, von welchen die innere in Grade getheilt ist, die äussere aber in Theile, welche sich eben so zu einander verhalten, wie sich die innern Breiten der Gewölbschichten in einem Quadrant verhalten: wodurch also Theilpunkte für jeden Gewölbstein erhalten werden. Da das in Fig. 581 vorgestellte Gewölbe 13 Steinschichten enthält, durch welche der Grundbogen des Gewölbes in 13 gleiche Theile getheilt wird, so muss der Quadrant *K I* in $6\frac{1}{2}$ gleiche Theile getheilt werden, von wel-

chen der Theilpunkt 1 für die Richtung der obern Lagerfuge des Anfängers gilt, der Theilpunkt 2 für die zweite Lagerfuge, der Theilpunkt 3 für die dritte Lagerfuge u. s. f.

Der Mittelpunkt dieses Ringstücks befindet sich in *m*, woselbst ein kleines viereckiges Plättchen von der Stärke des Ringstücks *IK* auf dem Rahm befestigt ist, damit der Mittelpunkt *m* in die Ebene des Ringstücks zu liegen komme. In dem Punkte *m* ist ein kleines Loch in dem Rahm zur Aufnahme einer Lothschnur angebracht, welche hier befestigt ist.

Das Versetzen der Gewölbsteine beginnt nun damit, dass auf beiden Seiten des zu erbauenden Gewölbes die Anfänger auf ihre Lager gebracht werden, und zwar vorläufig noch ohne Mörtelbettung, indem zunächst untersucht werden muss, ob die Steine richtig bearbeitet worden sind. Zu dem Ende wird der Anfänger auf der Ecke so verlegt, dass die Stirnfläche desselben genau in die Seitenebene der Mauer falle und die untere Kante der Leibung mit der obern innern Kante der Mauer gut zusammentreffe. Nachdem dies geschehen ist, untersucht man die innere Oberkante des Steins. Zu dem Ende halte man eine Lothschnur an dieselbe, lege die Messlatte an, und sehe zu, ob die Lothschnur durch den Theilstrich 1 geht, welcher am Balken *AB* markirt ist, und ob die Höhe dieser Kante mit der Höhe übereinstimmt, welche auf der Messlatte für dieselbe vorgezeichnet ist. Sollten dabei Differenzen sich zeigen, so muss der Stein nachgearbeitet werden. Stimmen aber jene Coordinaten mit denen überein, welche die Tabelle für diese Kante angiebt, so hat man nur noch die obere Lagerfuge zu prüfen. Zu dem Ende lege man den Inclinator mit dem Schenkel *GH* auf diese Fuge, und sehe nach, ob die Lothlinie durch den Theilpunkt 1 des eingetheilten Bogens geht, und wenn dies zutrifft, wird der Stein wieder aus dem Lager gebracht und die Lagerfugen werden sorgfältig gereinigt.

Nachdem dies geschehen ist, wird das Lager genässt und mit einer dünnen Schicht feinen Cement ganz gleichmässig bestrichen. Hiernach wird der Stein behutsam in sein Lager herabgelassen und nicht etwa von der Seite herangeschoben, wodurch

die Cementlage verschoben werden könnte. Liegt der Stein auf, so wird er nochmals abgerichtet und mit einer kleinen Handramme so lange behutsam angerammt, bis aus den Fugen kein Cement weiter hervortritt.

Hierauf wird der Anfänger derselben Steinschicht in dem andern Haupte des Gewölbes in gleicher Weise versetzt, ohne jedoch denselben in eine Mörtelbettung zu legen, welches erst geschieht, nachdem alle übrigen Steine zwischen den beiden Steinen der Stirnenden des Gewölbes eingebracht und versetzt worden sind. Diese zwei Steine dienen nun zum Abrichten der dazwischen liegenden Steine, indem diese letzteren so versetzt werden, dass ihre innere Oberkante mit der Oberkante der versetzten Eckstеine eine gerade Linie und sämmtliche obere Lagerfugen eine zusammenhängende Ebene bilden. Bevor aber diese mittleren Steine in ihr Lager gebracht werden, untersucht man die Oberfläche des Grundsteins, ob dieselbe genau horizontal, und die des anliegenden Steins, ob diese genau vertical sei. Sollten sich Unebenheiten vorfinden, so werden diese sorgfältig nachgebessert. Hierauf werden die Lager- und die Stossfugen des zu versetzenden Steins geprüft, ob die Flächen dieser Fugen Ebenen oder windschiefe Ebenen seien. Nachdem dies geschehen ist, wird der Stein auf sein Lager gebracht und nach den beiden Ecksteinen eingefluchtet; und nachdem man untersucht hat, ob die Lagerfugen, so wie auch die Stossfugen gut schliessen, wird derselbe aus seinem Lager gebracht, die Oberfläche des Grundsteins, so wie auch die Stossfuge des anliegenden Steins genässt und sorgfältig mit einer dünnen Schicht feinen Cement gleichmässig bestrichen. Hierauf wird der Stein vorsichtig wieder auf sein Lager gelegt und behutsam angerammt.

Eben so werden die übrigen Steine verlegt.

Sollte der Fall vorkommen, dass ein Stein gegen die übrigen zu geringe Höhe habe, so darf die richtige Höhe desselben nicht etwa durch eine stärkere Cementlage vermittelt werden, noch weniger darf der Stein mittelst hölzerner Keile gehoben werden, sondern es wird der Stein um so viel nach innen vor-

geschoben, bis sein oberes Lager mit der Ebene der oberen Lagerfuge der übrigen Steine zusammenfällt. Natürlicherweise wird nun die innere Wölbungsfläche nachgearbeitet werden müssen, um den Theil hinwegzunehmen, um welchen der Stein nach innen geschoben worden ist.

Wenn aber die Höhe eines Steins zu gross wäre, so wird vom obern Lager oder auch vom untern so viel hinweggenommen als nöthig ist.

Ist die erste Steinschicht richtig versetzt worden, so wird auf ähnlichem Wege die zweite Steinschicht versetzt, indem man die Lage der innern Oberkante dieser Steine durch die auf dem Balken *A B* angedeutete Abscisse und durch die auf der Messlatte *C D* vorgeschriebene Ordinate richtig bestimmt; die Richtung der obern Lagerfuge aber mittelst des Inclinators prüft, dessen Lothlinie durch den Theilstrich 2 des eingetheilten Kreisbogens gehen muss, wenn derselbe mit dem Schenkel *G H* auf diese Fuge gestellt wird.

In dieser Weise werden die verschiedenen Gewölbschichten auf beiden Seiten des Gerüstes zugleich versetzt; denn wenn dies nur auf der einen Seite geschähe, würde das Gerüst wegen des einseitigen Druckes zu sehr leiden und wohl gar seine Form verändern.

Nachdem alle Steine des Gewölbes versetzt sind, lässt man dasselbe mit dem Gerüst einige Wochen zum Austrocknen frei stehen, und wenn dies erfolgt ist, so wird das Gerüst behutsam, ohne grosse Erschütterungen zu verursachen, herausgenommen.

Es ist eine bekannte Sache, dass jedes Gewölbe nach dem Ausrüsten mehr oder weniger sich senkt, je nachdem die Form des Grundbogens beschaffen ist. Man nennt dies das Setzen des Gewölbes. Geschieht nun das Ausrüsten in der Art, dass nach und nach einige Rüsthölzer herausgenommen werden, während die übrigen in ihrer Lage verbleiben, so wird das Gewölbe auch nur da sich setzen können, wo die Ausrüstung erfolgt ist. In Folge dessen wird aber ein ungleichmässiges Setzen eintreten, welches oft sehr nachtheilig werden kann, indem die Theile,

welchen das Setzen verstattet ist, die übrigen, welche dies nicht können, nach oben hinauszudrängen suchen. Geschieht aber die Ausrüstung in der Art, dass das ganze Gerüst mit einem Male gesenkt und dann herausgenommen wird, so tritt oft eine zu schnelle Senkung des Gewölbes ein, aus welcher nachtheilige Bewegungen hervorgehen, die dem Widerlager und dem Gewölbe bedeutende Risse beibringen.

Es ist daher nothwendig, die Anordnung des Gerüstes in der Weise zu treffen, dass dasselbe behutsam in allen Theilen nach und nach gleichmässig um ein Weniges gesenkt werden könne, damit das Gewölbe nur wenig, aber in allen Theilen zugleich sich setzen kann. Ist dies geschehen, so wird das Gerüst wieder um ein Weniges gesenkt und damit so lange fortgefahren, bis man voraussetzen darf, dass kein Setzen des Gewölbes weiter erfolgen werde; wonach dann das Gewölbe vollständig ohne Gefahr ausgerüstet werden kann.

Nachdem das Gewölbe vollständig sich gesetzt hat, werden immer einige Fugen theils nach innen, theils nach aussen sich öffnen, und es ist deshalb nothwendig, dass alle Fugen nachgesehen und sorgfältig mit Cement verstrichen werden.

§. 184.

Den Schluss dieses Werkes mögen die vier folgenden Tabellen bilden, von welchen Tabelle I. die kleinste Dicke kreisförmiger und elliptischer Tonnengewölbe angiebt, dieselbe in der Mitte des Schlusssteins gemessen. Es ist vorausgesetzt worden, dass die Steine eine mittlere Härte besitzen, und die Stärke des Gewölbes nach unten in der Art zunehme, dass sie in der Gegend, wo das Gewölbe an die Widerlager sich anschliesst, das Doppelte der Stärke des Schlusssteins betrage.

Die Tabelle II. ist für halbkreisförmige Tonnengewölbe berechnet, und enthält ausser der Dicke des Gewölbes im Schluss auch die Stärke der Widerlager bei verschiedener Höhe derselben.

Die Tabelle III. gilt für Tonnengewölbe, welche um ein Drittheil gedrückt und aus drei Bogen mit verschiedenen Mit-

telpunkten construirt sind, von welchen jeder einem Mittelpunktswinkel von 60 Grad zugehört. Die erste Abtheilung dieser Tafeln giebt den innern Durchmesser der Gewölbe an, die zweite zeigt die Höhe der Widerlager, d. i. die Entfernung vom untern Theile des Fundaments bis zum Gewölbeanfang. Die dritte Abtheilung enthält die Dicke der Gewölbe im Schluss, und die vierte Abtheilung die Stärke der Widerlager für den Fall des Gleichgewichts.

Die Tabelle IV. enthält die Dimensionen der vorzüglichsten Brücken in Europa.

I. Tabelle

der kleinsten Dicke kreisförmiger und elliptischer Tonnengewölbe.

Schwere Gewölbe, besonders Brückenbogen.			Mittlere Gewölbe, welche Fussböden bilden.			Leichte Gewölbe, welche nichts zu tragen haben.		
Lichte Weite.	Stärke des Schlusssteins.		Stärke des Schlusssteins.			Stärke des Schlusssteins.		
Fuss	Fuss	Zoll	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien
3	1	1½	0	6	—	0	3	4½
6	1	3	0	7	6	0	3	8
9	1	4½	0	8	3	0	4	1½
12	1	6	0	9	—	0	4	6
15	1	7½	0	9	9	0	4	10½
18	1	9	0	10	6	0	5	3
21	1	10½	0	11	3	0	5	7½
24	2	—	1	—	—	0	6	—
27	2	1½	1	—	9	0	6	4½
30	2	3	1	1	6	0	6	9
33	2	4½	1	2	3	0	7	1½
36	2	6	1	3	—	0	7	6
39	2	7½	1	3	9	0	7	10½
42	2	9	1	4	6	0	8	3
45	2	10½	1	5	3	0	8	7½
48	3	—	1	6	—	0	9	—
51	3	1½	1	6	9	0	9	4½
54	3	3	1	7	6	0	9	9
57	3	4½	1	8	3	0	10	1½
60	3	6	1	9	—	0	10	6
63	3	7½	1	9	6	0	10	10½
66	3	9	1	10	6	0	11	3
69	3	10½	1	11	3	0	11	7½
72	4	—	2	—	—	1	—	—
75	4	1½	2	—	9	1	—	4½
78	4	3	2	1	6	1	—	9
81	4	4½	2	2	3	1	1	1½
84	4	6	2	3	—	1	1	6
87	4	7½	2	3	9	1	1	10½
90	4	9	2	4	6	1	2	3
93	4	10½	2	5	3	1	2	7½
96	5	—	2	6	—	1	3	—
99	5	1½	2	6	9	1	3	4½
102	5	3	2	7	6	1	3	9
105	5	4½	2	8	3	1	4	1½
108	5	6	2	9	—	1	4	6
111	5	7½	2	9	9	1	4	10½
114	5	9	2	10	6	1	5	3
117	5	10½	2	11	3	1	5	7½
120	6	—	3	—	—	1	6	—

II. Tabelle

über die Stärke halbkreisförmiger Tonnengewölbe und deren Widerlager.

Innerer Durchmesser d. Bogen.	Höhe der Widerlager.	Stärke der Gewölbe im Scheitel.			Stärke der Widerlager.			Stärke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.		
Fuss	Fuss	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien
3	3	1	1	3	1	5	5			
3	4½	1	1	3	1	7	6			
3	6	1	1	3	1	8	9			
6	3	1	2	6	1	10	6			
6	4½	1	2	6	2	1	4			
6	6	1	2	6	2	3	4			
9	3	1	3	9	2	1	2			
9	6	1	3	9	2	7				
9	9	1	3	9	2	11	2			
12	0	1	5		1	4	7			
12	3	1	5		2	4	9	2	8	3
12	6	1	5		2	11	9	3	4	8
12	9	1	5		3	4	5	2	10	6
12	12	1	5		3	7	8			
12	15	1	5		3	10	1			
12	18	1	5		3	11	11			
12	21	1	5		4	1	4			
12	24	1	5		4	2	7			
18	6	1	7	6	3	7	10			
18	9	1	7	6	4	1	9			
18	12	1	7	6	4	6	1			
24	6	1	10		4	3	1			
24	9	1	10		4	9	5			
24	12	1	10		5	3	3			
30	6	2	0	6	4	10	1½			
30	9	2	0	6	5	5	7			
30	12	2	0	6	5	11	9			
36	6	2	3		5	4	10	5	9	11
36	9	2	3		6	1		6	6	9
36	12	2	3		6	7	8	7	2	1
42	0	2	5	6	4	0	8			
42	6	2	5	6	5	11	5			
42	9	2	5	6	6	8				
42	12	2	5	6	8	3	3			
48	6	2	8		7	6				
48	9	2	8		7	2	10			
48	12	2	8		7	10	7			
48	15	2	8		8	5	2			
54	6	2	10	6	7	0	4			
54	9	2	10	6	7	9	7			
54	12	2	10	6	8	5	8			
54	15	2	10	6	9	0	9			

Fortsetzung der II. Tabelle.

Innerer Durchmesser d. Bogen.	Höhe der Widerlager.	Stärke der Gewölbe im Scheitel.			Stärke der Widerlager.			Stärke der Widerlager wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.		
Fuss	Fuss	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien
60	6	3	1		7	6	8	7	11	4
60	9	3	1		8	4	3	8	9	3
60	12	3	1		9	0	7	9	6	1
60	15	3	1		9	8	1	10	1	11
66	6	3	3	6	8	1				
66	9	3	3	6	8	10	10			
66	12	3	3	6	9	7	6			
66	15	3	3	6	10	3	2			
66	18	3	3	6	10	10	2			
72	6	3	6		8	7	4			
72	9	3	6		9	5	4			
72	12	3	6		10	2	2			
72	15	3	6		10	10	2			
72	18	3	6		11	5	6			
78	6	3	8	6	9	1	10			
78	9	3	8	6	9	11	9			
78	12	3	8	6	10	9				
78	15	3	8	6	11	5	3			
78	18	3	8	6	12	0	10			
84	9	3	11		10	5	11	10	10	4
84	12	3	11		11	3	7	11	7	11
84	15	3	11		12	0	11	12	4	8
84	18	3	11		12	7	1	13	0	8
84	21	3	11		13	3	1	13	8	1
90	9	4	1	6	11	2	4			
90	12	4	1	6	11	11	6			
90	15	4	1	6	12	8	1			
90	18	4	1	6	13	4				
90	21	4	1	6	13	11	4			
96	9	4	4		11	7				
96	12	4	4		12	4	8			
96	15	4	4		13	1	7			
96	18	4	4		13	9	9			
96	21	4	4		14	5	4			
102	9	4	6	6	12	1	5			
102	12	4	6	6	12	11	2			
102	15	4	6	6	13	7	3			
102	18	4	6	6	14	4	7			
102	21	4	6	6	15	0	5			
108	9	4	9		12	7	8	12	10	11
180	12	4	9		13	5	8	13	9	

Fortsetzung der II. Tabelle.

Innerer Durchmesser d. Bogen.	Höhe der Widerlager.	Stärke der Gewölbe im Scheitel.			Stärke der Widerlager.			Stärke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.		
Fuss	Fuss	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien
108	15	4	9		14	2	10	14	6	4
108	18	4	9		14	11	4	15	3	1
108	21	4	9		15	7	5	15	11	3
114	9	4	11	6	13	2				
114	12	4	11	6	14		1			
114	15	4	11	6	14	9	5			
114	18	4	11	6	15	6	2			
114	21	4	11	6	16	2	3			
120	9	5	2		13	8	4			
120	12	5	2		14	6	5			
120	15	5	2		15	4				
120	18	5	2		16	0	10			
120	21	5	2		16	9	2			
126	9	5	4	6	14	2	8			
126	12	5	4	6	15	0	10			
126	15	5	4	6	15	10	6			
126	18	5	4	6	16	7	5			
126	21	5	4	6	17	3	11			
132	9	5	7		14	8	11	14	11	2
132	12	5	7		15	7	3	15	9	7
132	15	5	7		16	4	11	16	7	5
132	18	5	7		17	2	1	17	4	8
132	21	5	7		17	10	8	18	1	5
138	9	5	9	6	15	3	2			
138	12	5	9	6	16	1	7			
138	15	5	9	6	16	11	4			
138	18	5	9	6	17	3	8			
138	21	5	9	6	18	5	5			
144	9	6			15	9	6			
144	12	6			16	7	9			
144	15	6			17	5	6			
144	18	6			18	2	11			
144	21	6			18	11	8			
150	9	6	2	6	16	3	8			
150	12	6	2	6	17	2	3			
150	15	6	2	6	18	0	3			
150	18	6	2	6	18	9	8			
150	21	6	2	6	19	6	8			
156	9	6	5		16	10	1	16	11	3
156	12	6	5		17	8	8	17	10	
156	15	6	5		18	6	9	18	8	2

Fortsetzung der II. Tabelle.

Innerer Durchmesser d. Bogen.	Höhe der Widerlager.	Stärke der Gewölbe im Scheitel.			Stärke der Widerlager.			Stärke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.		
Fuss	Fuss	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien	Fuss	Zoll	Linien
156	18	6	5		19	4	4	19	5	9
156	21	6	5		20	1	5	20	2	11
162	9	6	7	6	17	4	2			
162	12	6	7	6	18	2	11			
162	15	6	7	6	19	1	1			
162	18	6	7	6	19	10	8			
162	21	6	7	6	20	7	11			
168	0	6	10		14	10	7			
168	3	6	10		15	11	2			
168	6	6	10		16	11	2			
168	9	6	10		17	10	5			
168	12	6	10		18	9	3			
168	15	6	10		19	7	4			
168	18	6	10		20	5	2			
168	21	6	10		21	2	5			
168	24	6	10		21	11	4			

Die in dieser Tabelle angegebene Stärke der Widerlager ist für den Fall des Gleichgewichts berechnet, und es muss daher derselben der Sicherheit wegen noch etwas hinzugefügt werden.

III. Tabelle

über die Stärke der um ein Drittheil gedrückten Tonnengewölbe und deren Widerlager.

Innerer Durchmesser der Bogen.	Höhe der Widerlager.	Kleinerer Halbmesser.	Grösserer Halbmesser.	Dicke der Gewölbe im Schluss.	Dicke der Widerlgr., wenn die Gewölb-Schenkel bis zur Höhe der äusseren Bogenrundung des Schlusssteins angefüllt werden.	Dicke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.
Fuss	Fuss Zoll	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.
3	3	0 9 $9\frac{2}{3}$	2 2 $2\frac{1}{3}$	1 1 9	1 6 6	
–	4 6	– – –	– – –	– – –	1 8 4	
–	6	– – –	– – –	– – –	1 9 5	
6	3	1 7 $7\frac{1}{3}$	4 4 $4\frac{2}{3}$	1 3	2 3 5	
–	4 6	– – –	– – –	– –	2 6 9	
–	6	– – –	– – –	– –	2 9 1	
9	3	2 4 11	6 7 1	1 5 6	2 8 2	
–	6	– – –	– – –	– – –	3 3 4	
–	9	– – –	– – –	– – –	3 7 3	
12	3	3 3 $2\frac{1}{2}$	8 8 $9\frac{1}{2}$	1 7 4	3 2 4	3 9 2
–	6	– – –	– – –	– – –	3 11 3	4 8 8
–	9	– – –	– – –	– – –	4 4 7	5 3 11
–	12	– – –	– – –	– – –	4 8 1	
–	15	– – –	– – –	– – –	4 10 9	
–	18	– – –	– – –	– – –	5 0 7	
–	21	– – –	– – –	– – –	5 2 1	
–	24	– – –	– – –	– – –	5 3 3	
18	6	4 10 10	13 1 2	1 10 10	4 10 3	
–	9	– – –	– – –	– – –	5 5 5	
–	12	– – –	– – –	– – –	5 10 6	
21	6	5 8 7	15 3 4	2 0 8	5 5 4	
24	6	6 6 5	17 5 7	2 2 7	5 8 5	
–	9	– – –	– – –	– – –	6 5 0	
–	12	– – –	– – –	– – –	6 11 5	
30	6	8 2 $\frac{1}{2}$	21 9 $11\frac{1}{2}$	2 6 0	6 5 9	
–	9	– – –	– – –	– – –	7 3 7	
–	12	– – –	– – –	– – –	7 11 2	
36	6	9 9 8	25 2 4	2 10 1	7 3 1	8 0 0
–	9	– – –	– – –	– – –	8 2 0	9 0 3
–	12	– – –	– – –	– – –	8 10 8	9 9 11
42	6	11 5 3	30 6 9	2 2 0	8 0 0	
–	9	– – –	– – –	– – –	8 11 8	
–	12	– – –	– – –	– – –	9 8 11	

Fortsetzung der III. Tabelle.

Innerer Durchmesser der Bogen.	Höhe der Widerlager.	Kleinerer Halbmesser.	Grösserer Halbmesser.	Dicke der Gewölbe im Schluss.	Dicke der Widerlgr., wenn die Gewölb-Schenkel bis zur Höhe der äusseren Bogenrundung des Schlusssteins angefüllt werden.	Dicke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.
Fuss	Fuss Zoll	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.
48	6	13 0 10	34 11 2	3 5 2	8 8 2	
–	9	– – –	– – –	– – –	9 8 6	
–	12	– – –	– – –	– – –	10 6 8	
–	15	– – –	– – –	– – –	10 3 2	
54	6	14 8 6	39 3 6	3 8 8	9 4 7	
–	9	– – –	– – –	– – –	10 5 5	
–	12	– – –	– – –	– – –	11 4 3	
–	15	– – –	– – –	– – –	12 1 5	
60	6	16 4 1	43 7 11	4 0 6	10 1 0	10 9 0
–	9	– – –	– – –	– – –	11 2 5	11 11 5
–	12	– – –	– – –	– – –	12 1 10	12 11 8
–	15	– – –	– – –	– – –	12 11 8	12 10 2
66	6	17 11 8¼	48 0 3¼	4 4 0	10 9 2	
–	9	– – –	– – –	– – –	11 11 0	
–	12	– – –	– – –	– – –	12 10 11	
–	15	– – –	– – –	– – –	13 9 3	
–	18	– – –	– – –	– – –	14 6 3	
72	6	19 7 3½	52 4 8½	4 7 6	11 5 7	
–	9	– – –	– – –	– – –	12 7 10	
–	12	– – –	– – –	– – –	13 8 2	
–	15	– – –	– – –	– – –	14 6 11	
–	18	– – –	– – –	– – –	15 4 5	
78	6	21 2 11	56 9 1	4 11 6	12 1 8	
–	9	– – –	– – –	– – –	13 4 4	
–	12	– – –	– – –	– – –	14 5 0	
–	15	– – –	– – –	– – –	15 4 4	
–	18	– – –	– – –	– – –	16 2 3	
84	9	22 10 6	61 1 6	5 3 0	14 1 0	14 9 1
–	12	– – –	– – –	– – –	15 2 3	15 10 10
–	15	– – –	– – –	– – –	16 1 10	16 11 0
–	18	– – –	– – –	– – –	17 0 3	17 9 11
–	21	– – –	– – –	– – –	17 9 7	18 7 9
90	9	24 6 1⅓	65 5 10⅔	5 6 9	14 9 4	
–	12	– – –	– – –	– – –	15 11 8	
–	15	– – –	– – –	– – –	16 10 9	
–	18	– – –	– – –	– – –	17 9 8	
–	21	– – –	– – –	– – –	18 7 4	

Fortsetzung der III. Tabelle.

Innerer Durchmesser der Bogen.	Höhe der Widerlager.	Kleinerer Halbmesser.			Grösserer Halbmesser.			Dicke der Gewölbe im Schluss.			Dicke der Widerlag., wenn die Gewölb-Schenkel bis zur Höhe der äusseren Bogenrundung des Schlusssteins angefüllt werden.			Dicke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.		
Fuss	Fuss Zoll	Fuss	Zoll	Lin.	Fuss	Zoll	Lin.	Fuss	Zoll	Lin.	Fuss	Zoll	Lin.	Fuss	Zoll	Lin.
96	9	26	1	$8\frac{1}{2}$	69	10	$3\frac{1}{3}$	5	10	0	15	5	2			
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16	7	0			
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	17	7	3			
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18	6	5			
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19	4	6			
102	9	27	9	4	74	2	8	6	1	10	16	1	8			
–	12										17	3	8			
–	15										18	4	5			
–	18										19	3	10			
–	21										20	2	4			
108	9	29	4	$11\frac{1}{4}$	78	7	$\frac{1}{4}$	6	5	5	16	9	10	17	4	11
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18	0	2	18	7	8
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19	1	1	19	9	1
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	0	11	20	9	4
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	11	8	21	8	5
114	9	31	0	7	82	11	5	6	9	2	17	6	2			
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18	8	8			
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19	10	0			
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	10	2			
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21	9	1			
120	9	32	8	2	87	3	10	7	0	6	18	2	2			
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19	4	11			
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	6	4			
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21	6	9			
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	22	6	1			
126	9	34	3	$9\frac{1}{3}$	91	8	$2\frac{1}{3}$	7	4	4	18	10	5			
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	1	5			
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21	3	1			
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	22	3	9			
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23	3	5			
132	9	35	11	$4\frac{1}{3}$	96	0	$7\frac{1}{3}$	7	8	0	19	6	7	20	0	0
–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	9	10	21	4	6
–	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21	11	8	22	6	9
–	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23	0	6	23	7	11
–	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	24	0	5	23	8	2

Fortsetzung der III. Tabelle.

Innerer Durchmesser der Bogen.	Höhe der Widerlager.	Kleinerer Halbmesser.	Grösserer Halbmesser.	Dicke der Gewölbe im Schluss.	Dicke der Widerlgr., wenn die Gewölb-Schenkel bis zur Höhe der äusseren Bogenrundung des Schlusssteins angefüllt werden.	Dicke der Widerlager, wenn das Gewölbe mit einer Pflasterung beschwert wird.
Fuss	Fuss Zoll	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.	Fuss Zoll Lin.
138	9	37 6 11½	100 5 ½	7 11 6	20 2 8	
–	12	– – –	– – –	– – –	21 6 0	
–	15	– – –	– – –	– – –	22 8 1	
–	18	– – –	– – –	– – –	23 9 2	
–	21	– – –	– – –	– – –	24 9 4	
144	9	39 2 7¼	104 9 4¾	8 3 4	20 10 11	
–	12	– – –	– – –	– – –	22 2 4	
–	15	– – –	– – –	– – –	23 4 9	
–	18	– – –	– – –	– – –	24 6 0	
–	21	– – –	– – –	– – –	25 6 4	
150	9	40 10 2⅓	109 1 9⅔	8 7 0	21 6 11	
–	12	– – –	– – –	– – –	22 10 6	
–	15	– – –	– – –	– – –	24 1 0	
–	18	– – –	– – –	– – –	25 2 6	
–	21	– – –	– – –	– – –	25 3 1	
156	9	42 5 9⅔	113 6 2⅓	8 10 6	22 3 0	22 8 7
–	12	– – –	– – –	– – –	23 6 9	24 0 8
–	15	– – –	– – –	– – –	24 9 5	25 5 7
–	18	– – –	– – –	– – –	25 11 1	26 3 6
–	21	– – –	– – –	– – –	26 11 1	27 6 6
162	9	44 1 5	117 10 7	9 2 4	22 11 3	
–	12	– – –	– – –	– – –	24 3 1	
–	15	– – –	– – –	– – –	25 5 11	
–	18	– – –	– – –	– – –	26 7 10	
–	21	– – –	– – –	– – –	27 8 9	
168	0	45 9 ¼	122 2 11¾	9 5 9	18 11 8	
–	3	– – –	– – –	– – –	20 7 6	
–	6	– – –	– – –	– – –	22 1 11	
–	9	– – –	– – –	– – –	23 7 1	
–	12	– – –	– – –	– – –	24 11 1	
–	15	– – –	– – –	– – –	26 2 1	
–	18	– – –	– – –	– – –	27 4 1	
–	21	– – –	– – –	– – –	28 5 3	
–	24	– – –	– – –	– – –	29 5 7	
174	12	47 4 8	126 7 4	9 9 0	25 6 10	
180	12	49 0 3	130 11 9	10 0 0	26 2 9	
210	12	57 2 4	152 9 8	11 6 0	29 7 3	
240	12	65 4 4	174 7 8	13 0 0	32 11 5	
270	12	73 6 5	196 5 7	14 0 0	35 11 4	
300	12	81 8 5	218 3 7	15 0 0	38 11 3	

IV. Tabelle

über die Abmessungen einiger der merkwürdigsten Brückengewölbe in Europa.

No.	Benennung und Ort der Brücke.	Jahr der Erbauung	Name des Baumeisters	Form der Bogen
1	Brücke Fabricius zu Rom			Halbkreis
2	Brücke Ferrato oder Cestius		Cestius Gallus	Halbkreis
3	Brücke St. Angelo	138	Messius Rusticus	Halbkreis
4	Brücke Cremera zu Civita Castellana	antik		Halbkreis
5	Brücke Ceret bei Perpignan	1336		Halbkreis
6	Brücke Marie zu Paris	1656	Marie	Halbkreis
7	Brücke des Têtes über die Durance	1732	Henriana	Halbkreis
8	Brücke Kiou in England			Halbkreis
9	Brücke Rumilly über den Cheran	1785	Garella	Halbkreis
10	Brücke Mazeres über den Lers	1787	Pertinchamp	Halbkreis
11	Brücke Maligny über den Serin		Verbruge	Halbkreis
12	Brücke Semur über den Armençon	1780	Dumorey	Halbkreis
13	Marmorbrücke zu Florenz		M. Angelo	Kreisstück
14	Brücke Vieille Brioude über den Allier	1454	Grenier und Estone	Kreisstück
15	Brücke von Claix über den Trac	1611		Kreisstück
16	Brücke über den Tafen in England	1756	Edwards	Kreisstück
17	Brücke Trilport	1765	Perronet	Kreisstück
18	Brücke Blackfriars zu London	1776	Mylne	Kreisstück
19	Fleischbrücke zu Nürnberg	1599	Carle	Kreisstück
20	Brücke von Pesmes über den Ougnon	1772	Bertrand	Kreisstück
21	Brücke Fouchards zu Saumur	1784	Limay	Kreisstück
22	Brücke St. Maxence über die Oise	1784	Dausse, Dumoustier u. Perronet	Kreisstück
23	Brücke zu Rosoi über den Hyeres	1787	Perronet	Kreisstück
24	Brücke zu Brunoi über den Hyeres	1789	Perronet	Kreisstück
25	Brücke der Concordia zu Paris	$17\frac{8}{11}$	Perronet	Kreisstück
26	Brücke zu Nemour über den Loing	1805	Boistard nach Perronet	Kreisstück
27	Brücke Jena zu Paris	1813	Lamandé	Kreisstück

Anzahl der Bogen	In rheinländischen Fussen.						Verhältnisszahl der Spannweite r zu				
	Spannweite	Höhe des Schlusssteins	Dicke der Widerlager	Dicke der Mittelpfeiler	Höhe der Pfeiler	Abstand der Sehne vom Bogen					
	r	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
2	80,73	5,1	26	31		40,36	15,8:1	3,1:1	2,6:1		2:1
1	74,5	4,1	29			37,7	18,1	2,5			2
3	58	4,6	24	21,7	21,7	29	12,6	2,4	2,6	2,6	2
	72,5					24,9					
3	49,7	2,1	24,9	21,7	21,7	36,7	23,6	2	2,2	2,2	2
1	74,5	5,1				37,2	14,6				2
	40,4					20,2					
5	57	4,1	26	11,4		28,5	13,9	2,2	5		2
1	121	4,6				60	12,6	2,1			2
	38					18,5					
5	51,2	2,7	17	8,5	7,2	25,6	21,5	2,2	6	7	2
	58					29					
1	124,2	5,1	28,6			62	24	4,3			2
3	68,3		25	15,5		34,1		2,7	4,4		2
1	82,8	2,9	11,8			41,4	28,5	7			2
1	74,55	6,5	11,8			37,77	11,4	6,4			2
1	134,5	5,2	10,3			29	25,8	13			4,6
1	172,68	4,1	44,5			65	42	3,8			2,65
1	145	3	21,7			53,8	48,3	6			2,7
1	145	3,6	25,4			36	40	5,7			4
	74,5					27					
3	77,6	4,6	18,6	15,5	15,5	28	16,8	4,1	5		2,7
	71,87					29	11				
9	94,17	6,5	38,3	22,3	7,9	39	14,4	2,1	4	9	2,4
1	94	3,89	41			12,4	24	2,3			7,6
3	43,46	3,79	12,42	6,2	11,37	3,79	11,4	3,5	7	3,8	11,6
3	82,8		31	12,4	16,56	8,4		2,67	6,6	5	9,8
3	74,52	4,65	18,6	9,3	27	6,2	16	4	8	2,76	12
2	24,8	2,5	12,4	6		3	9,9	2	4,1		8,2
3	18,64	2	10,35	3,6	8,9	2	9,32	1,8	5	2	9,32
	74,5	3				10,3	24,8				
5	90	4	49,7	9,3	15,9	9,3	22,5	1,5	8	5	9,7
3	54,7	3,1	16,4	7,2	19	3	16,6	3	7,2	2,7	17,2
5	89,6	4,8	31	9,6		10,6	18,6	2,9	9,3		8,46

No.	Benennung und Ort der Brücke.	Jahr der Erbauung	Name des Baumeisters	Form der Bogen
28	Brücke zu Tours über die Loire	$17\frac{5}{62}$	Bayeux	Korbbogen
29	Brücke zu Moulins über den Allier	$17\frac{6}{64}$	deRegemorte	Korbbogen
30	Brücke zu Saumur über die Loire	$17\frac{6}{64}$	de Voglie u. de Cessart	Korbbogen
31	Brücke zu Mantes über die Seine	$17\frac{7}{68}$	Hupeau und Perronet	Korbbogen
32	Brücke zu Nogent über die Seine	$17\frac{6}{69}$	Perronet	Korbbogen
33	Brücke zu Neuilly über die Seine	1774	Chezy und Perronet	Korbbogen
34	Brücke zu Château — Thierry über die Marne	$17\frac{6}{66}$	Perronet	Korbbogen
35	Brücke zu Blois über die Loire	1720	Pitrou und Gabriel	Korbbogen
36	Brücke zu Orleans über die Loire	$17\frac{1}{60}$	Hupeau und Soyen	Korbbogen
37	Brücke zu Ingersheim über den Fecht	1773	Clinchamp	Korbbogen
38	Brücke zu Vizile über die Romanche		Bouchet	Korbbogen

Anzahl der Bogen	In rheinländischen Fussen.						Verhältnisszahl der Spannweite r zu				
	Spannweite	Höhe des Schlusssteins	Dicke der Widerlager	Dicke der Mittelpfeiler	Höhe der Pfeiler	Abstand der Sehne vom Bogen					
	r	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
15	77,7	3,1	15,5	15,5	6,4	25,9	25	5	5	12	3
13	62,1	3,1	37,2	11,37	3,1	20,7	20	1,67	5,5	20	3
12	62,1	4,7	12,3	12,3	16,57	20,7	13,2	5	5	3,7	3
3	111,8	6,2	27,9	24,8	6,3	33,9	18	4,0	5	20	3,3
	124,3					37,6	20	4,4			
1	93,6	4,1	18,6			27,9	22,8	5			3,3
5	124,2	5	34,4	13,44	6,4	31	24	3,6	9,2	19,4	4
3	55,75	3,9	14,4	14	5,7	18,58	14	4	3,7	9	3
	49,7	3,6				16,6					
11	53,2	6,7	22,7	15,5			14	4,1	3,4		
	83,7			16,5					5,06		
9	95,2			16,7			15	4,5	5,5		
	103,5			18,6							
3	48,7		20,7					2,3			
	58,3										
1	133,5	6,2	31,06			37,2	21,5	4,3			3,5

Erklärung der Figuren.

Tafel I. Fig. 1. bis Fig. 21.

Werkzeuge des Steinmetzen.

Fig. 1, *a* und *b*, das Beitzeisen.
— 2, *a* und *b*, das grosse Beitzeisen.
— 3, das Spitzeisen.
— 4, und Fig. 5, das Schlageisen.
— 6, und Fig. 7, das Scharrireisen.
— 8, *a* und *b*, das Zahneisen.
— 9, *a* und *b*, das Nutheisen.
— 10, *a* und *b*, das Kröneleisen
— 11, *a* und *b*, der Possekel.
— 12, die Zweispitze.
— 13, der eiserne Schlägel.
— 14, der hölzerne Schlägel.
— 15, die Scheere für Sandstein.
— 16, die Fläche zur Bearbeitung der Granitsteine.
— 17, desgleichen — — — — eine kleinere.
— 18, der Kraushammer.
— 19, die kleinere Scheere für Sandstein.
— 20, die Scheere für Granitsteine.
— 21, die Schmiege.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren enthält §. 6.

Tafel II. Fig. 22. bis Fig. 38.

Steinverbände.

Fig. 22 bis incl. Fig. 25, das Isodomum der Alten.
— 26, das Pseudisodomum.
— 27 und Fig. 28, das Emplecton.
— 29 bis incl. 35, Mauerbekleidungen.
— 36, Verbindung eines Bindersteins mit zwei Läufersteinen bei Bekleidungen.
— 37 und 38, desgleichen bei einer stumpfen Ecke.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 7.

Tafel III. Fig. 39. bis Fig. 55.

Construction gerader Mauern aus Schnittsteinen.

Fig. 39, 40 und 41, Construction der Ecke einer Mauer, welche einen Stein stark ist.

— 42, 43 und 44, Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer.

— 45, 46 und 47, zweite Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer.

— 48 und 49, dritte Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer.

— 50, 51 und 52, vierte Construction der Ecke einer zwei Stein starken Mauer.

— 53, 54 und 55, Construction der Ecke einer drei Stein starken Mauer.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 11.

Tafel IV. Fig. 56. bis Fig. 85.

Mauerverbindungen.

Fig. 56, 57 und 58, Construction der Ecke einer abwechselnd zwei und drei Stein starken Mauer.

— 59 bis 63, Steinverbindungen bei Mittelwänden.

— 64 bis 70, gebräuchliche Manier, geometrische Figuren in der schiefen Projection zu zeichnen.

— 71, Durchschnitt einer ebenen Böschungsmauer.

— 72, die Form des untern Steins dieser Mauer.

— 73, Durchschnitt der ebenen Böschungsmauer mit gebrochenen Lagerfugen.

— 74 und 75, Steine dieser Mauer.

— 76, Grundriss und Durchschnitt einer windschiefen Böschungsmauer.

— 77, ein Stein dieser Mauer.

— 78, eine andere Construction der windschiefen Böschungsmauer.

— 79 und 80, zwei Steine dieser Mauer.

— 81, Durchschnitt einer Böschungsmauer mit gebrochener Böschungsebene.

— 82, ein Stein dieser Mauer.

— 83, Construction der cylindrischen Mauer.

— 84, ein Stein dieser Mauer.

— 85, Grundriss einer elliptisch cylindrischen Mauer.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 13. bis inclusive §. 19.

Tafel V. Fig. 86. bis Fig. 97.

Fig. 86. Grundriss und Durchschnitt einer schiefen cylindrischen Mauer.
— 87, bis Fig. 90, Steine dieser Mauer.
— 91, eine andere Construction der schiefen cylindrischen Mauer.
— 92, 93, 94 und 95, Steine dieser Mauer.
— 96 und 97, Construction der kegelförmigen Böschungsmauer.
Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 20. bis incl. §. 25.

Tafel VI. Fig. 98. bis Fig. 119.

Diese Tafel enthält die Figuren zur Theorie der Futtermauern, welche am Schluss des ersten Kapitels in §. 26. bis §. 61. enthalten ist.

Tafel VII. Fig. 120. bis Fig. 130.

Die verschiedenen Gewölbebogen.

Fig. 120 und 121, Entstehung der verschiedenen Gewölbebogen.
(A), die Abwickelung der Steine des normalen Bogens *A*, dessen erste Projection in Fig. 121 mit *A'* bezeichnet ist.
(B), Abwickelung des schiefen Bogens *B*.
(C), desgl. des runden Bogens *C*, dessen Achse durch den Mittelpunkt der cylindrischen Mauer geht.
(D), desgl. des runden Bogens *D*, dessen Achse nicht durch den Mittelpunkt der cylindrischen Mauer geht.
Fig. 122, Construction des normalen Bogens *A* mit rundem Rücken.
— 123, eine andere Construction dieses Bogens.
— 124, Construction des normalen Bogens mit rundem Rücken und horizontalen Lagerfugen in den unteren Gewölb-Schenkeln.
— 125, A, Ansicht eines überhöhten elliptischen Bogens mit geradem Rücken.
B, Durchschnitt dieses Bogens, wenn der Rücken rund ist.
— 126, Construction eines gedrückten elliptischen Bogens.
— 126 *a*, Construction der Ellipse.
— 126 *b*, Construction der Parabel.
— 126 *c*, Construction der Korblinie.
— 127, kreisrunder Bogen mit geradem Rücken.
— 128 und 129, Construction des Spitzbogens.
— 130, perspectivische Ansicht der in Fig. 121 dargestellten vier verschiedenen Bogen *A*, *B*, *C* und *D*.
Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 64. bis §. 74.

Tafel VIII. Fig. 131. bis Fig. 141.

Fortsetzung der Construction der Bogen.

Fig. 131, 132 und 133, vier verschiedene Motive des Fugenschnitts eines normalen Bogens.
— 134, ein parabolischer Bogen.
— 135, Construction des steigenden Bogens.
— 136 bis 141, verschiedene Constructionen der Richtungslinie des steigenden Bogens.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 75. bis incl. §. 80.

Tafel IX. Fig. 142. bis Fig. 178.

Fortsetzung der Construction der Bogen.

Fig. 142, die gerade Ansicht eines Bogens, welcher entweder nach Fig. 145 eine gerade Mauer in normaler Richtung durchdringt, oder nach Fig. 150 eine dossirte Mauer in normaler Richtung, oder nach Figur 157 eine gerade Mauer in schiefer Richtung, oder nach Fig. 163 eine dossirte Mauer in schiefer Richtung, oder nach Figur 169 eine cylindrische Mauer in centraler Richtung, oder endlich nach Fig. 177 eine cylindrische Mauer in excentrischer Richtung durchdringt.
— 143, Austragung der Lagerfugen des vollen normalen Bogens, dessen Grundriss Fig. 144 vorstellt.
— 145, der normale Durchschnitt dieses Bogens, denselben in der Richtung der Achse des Bogens genommen.
— 146 bis 148, Steine des vollen normalen Bogens.
— 150, Grundriss des normalen Bogens in der dossirten Mauer.
— 151, Durchschnitt desselben.
— 149, Austragung der Lagerfugen dieses Bogens.
— 152, 153 und 154, Steine dieses Bogens.
— 157, Grundriss des schiefen Bogens in der geraden Mauer.
— 158, Durchschnitt desselben.
— 155, Austragung der Lagerfugen dieses Bogens.
— 156, Aufriss des schiefen Hauptes.

Hierzu gehören die in Fig. 159, 160 und 161 dargestellten Steine, von welchen
Fig. 159, den Anfänger
— 160, den nächsten Stein über dem Anfänger, und
— 161, den Schlussstein vorstellt.
— 163, Grundriss des schiefen Bogens in der dossirten Mauer.
— 164, Durchschnitt desselben.

Fig. 162, Austragung der Lagerfugen dieses Bogens, und
— 165, 166 und 167, Steine desselben.
— 169, Grundriss eines Bogens in der cylindrischen Mauer.
— 170, dessen Durchschnitt.
— 168, die Austragung der Lagerfugen dieses Bogens.
— 171 bis 175, Steine dieses Bogens und zwar Figur 171 der Anfänger,
Fig. 172, der zweite Stein von unten,
— 173, der dritte Stein,
174, der vierte Stein,
— 175, der Schlussstein.

Die Figuren 176, 177 und 178 stellen den Grundriss, den Durchschnitt, und die Austragung der Lagerfugen eines Bogens vor, welcher in excentrischer Richtung eine cylindrische Mauer durchdringt.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 81 bis incl. §. 86.

Tafel X. Fig. 179. bis 186.

Fortsetzung der Construction der Bogen.

Fig. 179, die gerade Ansicht.
— 180, der Grundriss, und
— 181, die Austragung der Lagerfugen eines vollen Bogens, welcher in schiefer Richtung eine schiefe cylindrische Mauer durchdringt.
— 182, ist der Grundriss einer kegelförmigen Mauer, welche in schiefer Richtung von einem vollen schiefen Bogen in schiefer Richtung durchdrungen wird.
— 183, Austragung der Lagerfugen dieses Bogens.
— 184, gerade Ansicht,
— 185, Grundriss einer dossirten cylindrischen Mauer, welche in schiefer Richtung von einem vollen Bogen durchdrungen wird.
— 186, die Austragung der Lagerfugen dieses Bogens.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 88. bis §. 90.

Tafel XI. Fig. 187. bis Fig. 193.

Die schiefen Tonnengewölbe.

Fig. 188, Ansicht des schiefen Hauptes eines schiefen Tonnengewölbes, dessen Lagerfugen in der Art gebrochen werden, dass ihre Richtung auf den schiefen Häuptern normal steht.
— 189, ist der Grundriss.
— 187, der normale Querschnitt nach der Linie $O' P'$ des Grundrisses.

Diese Gewölbeconstruction wird bei Ueberbrückungen angewendet, wenn eine Strasse in schiefer Richtung auf einen Strom stösst.

Fig. 191 zeigt eine andere Construction des schiefen Tonnengewölbes für schiefe Ueberbrückungen. Fünf normale Bogen, welche stumpf an einander stossen und mittelst Eisenverbindungen zu einem Ganzen verbunden werden, bilden dies schiefe Gewölbe.
— 190, ist eine gerade Ansicht des Hauptes.
— 192, ein Längendurchschnitt nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses.
— 193, zeigt die Zusammenstellung der fünf normalen Bogen.
Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 92. und §. 93.

Tafel XII. Fig. 194. bis Fig. 203.

Das schiefe Tonnengewölbe mit Schildbogen.

Fig. 194, zeigt die gerade Ansicht des Hauptes,
— 195, den Grundriss,
— 196, die Abwickelung der innern Leibung,
— 197, den Längendurchschnitt nach der Linie $m' t'$,
— 198, den normalen Querschnitt nach der Linie $C' D'$,
— 199, desgleichen nach der Linie $A' B'$.
— 200 bis 203 sind Steine dieses Gewölbes und zwar
Fig. 200, der Anfänger,
— 201, ein Stein der untern Schicht neben dem Anfänger,
— 202, ein Stein des Hauptes über dem Anfänger,
— 203, der Schlussstein des Hauptes.
Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 94.

Tafel XIII. und Tafel XIV. Fig. 204. bis Fig. 237.

Conische Gewölbe.

Fig. 204, die gerade Ansicht, und
— 205, Grundriss eines conischen Gewölbes.
— 206, Durchschnitt nach der Richtung der Achse,
— 207, Austragung der Lagerfugen dieses Gewölbes,
— 208, der Anfänger,
— 209, der nächste Stein über dem Anfänger,
— 210, der Schlussstein dieses Gewölbes,
— 211, die gerade Ansicht, und
— 212, der Grundriss eines conischen Gewölbes, welches in einer von zwei Mauern gebildeten Ecke angebracht ist.
— 213, Durchschnitt dieses Gewölbes, und
— 214 und 215, Steine desselben, nämlich 214 der Anfänger, und
— 215, der Schlussstein.
— 216, 217 und 218, die gerade Ansicht, der Grundriss und der Durchschnitt eines andern conischen Gewölbes, welches in seiner Con-

struction von dem vorigen Gewölbe nur darin verschieden ist, dass die Gewölbsteine durch Stossfugen getheilt werden.

Fig. 219, 220, 221 und 222, die gerade Ansicht, der Grundriss, das schräge Haupt und der Durchschnitt eines conischen Gewölbes, welches in der Ecke zweier sich schneidenden Mauern angebracht ist und zur Unterstützung gerader Mauern dient.

— 223, 224 und 225, die gerade Ansicht, der Grundriss und der Durchschnitt eines conischen Gewölbes mit rundem Haupte.

— 226, 227 und 228, die gerade Ansicht, der Grundriss und der Durchschnitt einer hervorspringenden conischen Kernwölbung.

— 229, die Form der ausgetragenen oberen Lagerfuge des Steines zunächst über dem Anfänger.

— 230, 231, 232 und 233, die Ansicht, der Grundriss und die zwei Häupter einer conischen Kernwölbung, welche unter dem Namen „conische Kernwölbung auf der abgestutzten Seite“ bekannt ist.

— 234, 235 und 236, die Ansicht, der Grundriss und das Haupt einer conischen Kernwölbung auf der rund abgestutzten Ecke.

— 237, die Form der ausgetragenen Lagerfuge des Schlusssteins.

Die ausführliche Beschreibung der conischen Gewölbe ist in §. 95. bis §. 103. enthalten.

Tafel XV. Fig. 238 bis Fig. 249.

Sphärische Gewölbe.

Fig. 238, ein gerader Durchschnitt, und
239, der Grundriss eines Kugelgewölbes.

— 240, Austragung der unteren Lagerfuge der dritten Steinschicht von unten.

— 241, Austragung der Leibung dieser Schicht.

— 242 bis 245, sind Steine dieses Gewölbes.

Fig. 242, die erste Form des Anfängers, dargestellt als Cylinderstück.

— 243, die Form des Anfängers, wenn derselbe vollständig bearbeitet ist.

— 244, der Stein zunächst über dem Anfänger.

— 245, ein Stein der dritten Schicht.

— 246 und 247, Durchschnitt und Grundriss eines Kugelgewölbes über dem quadraten Raume.

— 248, der Anfänger auf der Ecke.

— 249, ein Eckstein der zweiten Schicht dieses Gewölbes.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 107. und §. 108.

Tafel XVI. Fig. 250. bis Fig. 252.

Fortsetzung über sphärische Gewölbe.

Fig. 250, der Grundriss und der Durchschnitt eines überhöhten sphäroidischen Gewölbes.

— 251, Grundriss und Durchschnitt eines gedrückten sphäroidischen Gewölbes.

— 252, ein Kuppelgewölbe mit Kassetten und einer Lichtöffnung.

Die ausführliche Beschreibung in §. 109.

Tafel XVII. Fig. 253. bis Fig. 261.

Fortsetzung über sphärische Gewölbe.

Fg. 253, 254 und 255 zeigen die Construction des flachen Kugelgewölbes über dem quadraten Raume, welches unter der Benennung „Böhmisches Gewölbe" bekannt ist.

— 254, der Grundriss, Fig. 253, der Durchschnitt nach der Linie A' B' des Grundrisses, und Fig. 255 der Diagonalschnitt nach der Linie C' D'.

— 256 bis 261, Steine dieses Gewölbes; nämlich

Fig. 256, der Anfänger auf der Ecke, dessen erste Projection in Figur 254 mit M' bezeichnet ist,

E, die Schablone des obern Lagers und

H, die Schablone des untern Lagers am Anfänger M.

Fig. 257, der Stein K der zweiten Gewölbeschicht, dessen erste Projection in Fig. 254 mit K' bezeichnet ist.

— 258, der Stein N von oben angesehen,

259, derselbe Stein von unten angesehen. Die erste Projection dieses Steins ist in Fig. 254 mit N' bezeichnet.

I, ist die Schablone vom obern Lager, und

P, die Schablone der Stossfuge a b c d e.

Fig. 260 und 261 zeigen den Schlussstein O; Fig. 260 diesen Stein von unten angesehen, Fig. 261, denselben von oben angesehen.

S, die Schablone vom obern Lager,

R, desgl. von der Stossfuge des Schlusssteins O.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 110.

Tafel XVIII. und XIX. Fig. 262. bis Fig. 277.

Das Kuppelgewölbe auf dem quadraten Raume.

Fig. 263, der Grundriss,

— 262, der normale Querdurchschnitt nach der Linie A' B',

— 264, der Diagonalschnitt nach C' D', und

— 265, die gerade Ansicht des Hauptes eines Kuppelgewölbes, welches von vier Tonnengewölben unterstützt wird.

— 266, eine perspectivische Ansicht der vier unteren Steinschichten.

Tafel XIX. enthält die verschiedenen Steine dieses Gewölbes; von diesen bezeichnet

— 267, den Anfänger auf der Ecke, welcher hier aus 4 Steinen besteht,

B, die Schablone der Leibung,

D, die Schablone des Hauptes,

E, die Schablone vom unteren Lager,

F, desgleichen vom oberen Lager,

G, die Schablone der centralen Lagerfuge o_3 o_4 x α n_1 n am Anfänger,

H, die Schablone von der ebenen Fläche n n_2 b o.

— 268, die perspectivische Ansicht des Steins zunächst über dem Anfänger, dessen erste Projection in Fig. 263 mit N' bezeichnet ist;

K, die Schablone des Hauptes,

I, desgleichen vom oberen horizontalen Lager,

V, desgleichen von der Central-Lagerfuge dieses Steins.

— 269, Eckstein der dritten Schicht; derselbe dient zur Hintermauerung der Tonnengewölbe.

— 270, der Stein O, dessen erste Projection in Fig. 263 mit O' bezeichnet ist. Es ist dies der Stein der dritten Schicht, durch welchen der Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe vermittelt wird.

A und B sind Schablonen dieses Steins; A, die des Hauptes, B die der centralen Lagerfuge.

— 271, der Stein P der vierten Steinschicht;

A und B, Schablonen dieses Steins; A die des Hauptes, B die der centralen Lagerfuge.

— 272, der Stein Q der fünften Steinschicht,

A, die Schablone von dessen Haupte.

— 273, der Stein R, welcher in der sechsten Steinschicht den Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe vermittelt.

— 274, derselbe Stein von unten angesehen.

— 275, der Schlussstein S des Tonnengewölbes, welcher zum Theil in das Kugelgewölbe eingreift.

A, dessen Hauptschablone.

Fig. 276, derselbe Stein von unten angesehen;
B, die Schablone von der Lagerfuge,
C, desgleichen vom oberen Lager.
— 277, ein Stein des Kugelgewölbes und zwar ein Stein der ersten ringsherum laufenden Schicht.
Die ausführliche Beschreibung dieses Gewölbes in §. 111. und §. 112.

Tafel XX. Fig. 278. bis Fig. 283.

Fig. 278, der Grundriss von zwei sich kreuzenden Tonnengewölben, zwischen welchen in der Mitte ein Kugelgewölbe sich befindet.
— 279, gerade Haupt des Tonnengewölbes,
— 280, gerader Durchschnitt nach der Linie C' D' des Grundrisses.
— 281, schiefer Durchschnitt nach der Diagonale A' B' des Grundrisses.
— 282, der Schlussstein im verstärkten Gurtbogen, welcher zum Theil in das Kugelgewölbe reicht.
— 283, der Stein zur Seite des vorigen.
Die nähere Beschreibung in §. 113.

Tafel XXI. und XXII. Fig. 284. bis Fig. 310.

Der scheitrechte Bogen und das ebene Gewölbe.

Fig. 284, Construction des scheitrechten Bogens.
— 285 und 286, Steine desselben; Fig. 285 der Stein A, welcher das Widerlager bildet, und Fig. 286 der Schlussstein C des Bogens.
— 287, eine andere Construction des scheitrechten Bogens.
— 288, der Stein D, welcher das Widerlager bildet.
— 289, eine dritte Construction des scheitrechten Bogens.
— 290, der scheitrechte Bogen mit Dübeln oder Dollen.
— 291, der scheitrechte Bogen mit einfachen Trageisen.
— 292, der scheitrechte Bogen mit einfachen Trageisen, an denen Hängeeisen sich befinden.
— 293, der scheitrechte Bogen mit doppelten Trageisen.
— 294, der scheitrechte Bogen mit doppelten Trageisen zwischen welchen Hängeeisen sich befinden.
— 295, der Grundriss eines ebenen Gewölbes.
— 296, ein lothrechter Querschnitt nach A' B' des Grundrisses.
— 297, der Grundriss eines ebenen Gewölbes, dessen Häupter die in Figur 296 gegebene Form haben.
— 298, 299 und 300, die gerade Ansicht, der Längendurchschnitt und der Grundriss eines scheitrechten Bogens mit verdeckten Centralfugen.
Der Grundriss Fig. 300 stellt eine Ansicht von oben dar.
— 301 bis Fig. 306, Steine dieses Bogens.

Fig. 307 und 308, der Durchschnitt und der Grundriss eines scheitrechten Bogens, dessen Steine mit Zapfen und Nuthen versehen sind.

— 309 und 310, zweierlei Ansichten des Steins *A*, welcher neben dem Anfänger sich befindet.

Diese letztere Construction des scheitrechten Bogens hat den Nachtheil, dass die Zapfen an den Steinen das innige Anschliessen der Steine verhindern. Weit zweckmässiger ist die in Fig. 299 gegebene Construction dieses Bogens.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 114 bis §. 122.

Tafel XXIII., XXIV. und XXV. Fig. 311. bis Fig. 348.

Das Klostergewölbe.

Fig. 311, der Grundriss eines Klostergewölbes.

— 312, ein gerader Durchschnitt nach *C' D'*.

— 313, ein gerader Durchschnitt nach *A' B'*.

— 314, ein schiefer Diagonalschnitt nach *E' F'*.

— 315, ein gerader Querdurchschnitt nach *G' H'*.

— 316 bis 321, Steine dieses Gewölbes;

Fig. 316, der Anfänger, dessen erste Projection mit *a'* bezeichnet ist;

— 317, der Anfänger auf der Ecke, dessen erste Projection *b'* ist; die Figuren *r*, *s*, *q*, *t* sind Schablonen der Anfängersteine; *r*, *s* und *q* Schablonen der Stirnfläche oder der Stossfuge, *t* die Schablone des unteren Lagers am Ecksteine.

— 318, der Gratstein der zweiten Schicht, dessen erste Projection *c'* ist; *u* und *v* die Schablonen der Stossfugen desselben.

— 319, der Gratstein der dritten Schicht, dessen erste Projection mit *d'* bezeichnet ist; *w* und *z* sind Schablonen von den Stossfugen desselben.

— 320 und 321, zwei Ansichten des Schlusssteins.

Fig. 322 und 323 zeigen die Construction eines Klostergewölbes über dem regulären Achteck;

Fig. 323 ist der Grundriss und Fig. 322 ein Durchschnitt nach *R' S'*.

— 324 bis 327 sind Steine dieses Gewölbes; Fig. 324 derjenige Anfängerstein, dessen erste Projection *V'* ist;

Fig. 325, der Stein der zweiten Schicht, dessen erste Projection *Z'* ist;

— 326, der Schlussstein und Fig. 327 ein Gratstein der untersten Schicht.

— 328, die Schablonen der inneren Wölbungsflächen an den Gratsteinen.

— 329, 330 und 331 zeigen die Construction des Klostergewölbes über dem länglich viereckigen Raume;

Fig. 332, die Schablonen der inneren Wölbungsflächen der Gratsteine, und
— 333, derjenige Gratstein, dessen erste Projection im Grundrisse mit L' bezeichnet ist.
— 334 und 335, Construction eines Klostergewölbes, welches in der Mitte ein Spiegelgewölbe bildet.
— 336, Schablonen der innern Wölbungsflächen an den Gratsteinen.
— 337, die Austragung der Lagerfugen des in Fig. 311 dargestellten Klostergewölbes.
— 338 und 339, Construction eines sternförmigen Klostergewölbes mit ebenem Spiegelgewölbe in der Mitte.
— 340, 341 und 342 stellen Steine dieses Gewölbes vor, und zwar die Gratsteine der drei untern Steinschichten.
— 343, der Durchschnitt eines ebenen runden Gewölbes;
— 344, der Durchschnitt eines kegelförmigen Gewölbes;
— 345, Grundriss zu beiden Gewölben;
— 346, der Stein des kegelförmigen Gewölbes, dessen zweite Projection in Fig. 344 mit P'' bezeichnet ist.
— 347 und 348, Construction eines kegelförmigen Gewölbes mit einer Lichtöffnung im Scheitel.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 123. bis §. 132.

Tafel XXVI. Fig. 349. bis Fig. 363.

Das Kreuzgewölbe ohne Rippen.

Fig. 349, 350 und 351 zeigen die Construction des römischen Kreuzgewölbes, dessen Häupter auf der einen Seite nach dem vollen Halbkreise, auf der andern aber nach der Ellipse construirt sind.
— 352, die Schablone der inneren Wölbungsfläche desjenigen Gratsteins, dessen erste Projection mit $n_3' t' n_6' n_7' u' n_2'$ in Fig. 350 bezeichnet ist.
— 353, Austragung der Lagerfugen des halben Quadranten $f' a' p' v'$ Figur 350.

Die Fig. 354 bis Fig. 357 bezeichnen Steine dieses Gewölbes, und zwar:

— 354 bezeichnet den Anfänger,
— 355 bezeichnet den nächsten Stein über dem Anfänger,
— 356 und 357, den Gratstein zur Seite des Schlusssteins,

Fig. 356, die erste Form dieses Steins, denselben als Parallelepipedum dargestellt; Fig. 357, die Form des vollständig bearbeiteten Steins.

— 358, 359 und 360 zeigen die Construction eines Kreuzgewölbes mit doppelten Gratbogen.

Fig. 361, der Anfänger,

— 362, derjenige Stein zur Seite des Schlusssteins, dessen erste Projection in Fig. 359 mit $o' p' q' r' s' t' u'$ bezeichnet ist.

— 363, das Kreuzgewölbe auf einem ungleichseitigen Viereck, dessen Seiten nicht parallel sind.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 133. bis §. 137.

Tafel XXVII. und XXVIII. Fig. 364. bis Fig. 380.

Fortsetzung der Construction des Kreuzgewölbes.

Fig. 364, der Grundriss eines Kreuzgewölbes auf dem quadraten Raume.

— 365, Querdurchschnitt desselben nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses.

— 366, Diagonalschnitt nach $C' D'$;

— 367, ein normaler Querdurchschnitt nach der Linie $E' F'$;

— 368, ein schiefer Querdurchschnitt nach der Linie $G' H'$.

— 369, Austragung der Lagerfugen von der Hälfte des einen Quadranten.

Tafel XXVIII. enthält die vorzüglichsten Steine dieses Gewölbes, nämlich:

Fig. 370, der Anfänger, dessen erste Projection Q' ist.

a, *b*, *c*, *d*, *e* und *f* sind Schablonen dieses Steins:

a, Schablone der innern Leibung,

b, desgleichen von dem obern horizontalen Lager,

c, desgleichen von der centralen Lagerfuge,

d, desgleichen von dem untern horizontalen Lager,

e, desgleichen von der Stirnfläche und endlich

f, desgleichen der innern Stirnfläche.

— 371, der Stein zunächst des Anfängers, dessen erste Projection in Figur 364 mit P' bezeichnet ist;

g, die Schablone der Stirnfläche,

h, desgl. von der centralen Lagerfuge.

— 372, der dritte Stein *R* von unten, dessen erste Projection in Fig. 364 mit R' bezeichnet ist.

i, *k* und *l* sind Schablonen dieses Steins;

i, Stirnschablone,

k, Schablone des oberen horizontalen Lagers, und

l, desgl. von der centralen Lagerfuge.

— 373, der Stein *I*, dessen erste Projection mit I' bezeichnet ist;

m, dessen Stirnschablone,

n, dessen Schablone der centralen Lagerfuge.

— 374, der Stein *K* der vierten Schicht, dessen erste Projection mit K' bezeichnet ist;

o, die Schablone von der Stossfuge desselben.

Fig. 375, der Gratstein N der vierten Schicht, dessen erste Projection in Fig. 364 mit N' bezeichnet ist.

— 376 und 377, zwei Ansichten des Gratsteins L der siebenten Schicht, dessen erste Projection in Fig. 364 mit L' bezeichnet ist.

— 378, der Schlussstein V des Tonnengewölbes, und

— 379 und 380, zwei Ansichten vom Schlussstein S des Kreuzgewölbes.

q und p sind Schablonen des Steins V,

q, die Hauptschablone,

p, die Schablone der centralen Lagerfuge,

r ist die Schablone vom oberen horizontalen Lager des Schlusssteins S.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 138.

Tafel XXIX. Fig. 381. bis Fig. 387.

Das gerippte gothische Kreuzgewölbe.

Fig. 381 und 382 zeigen die Construction des gerippten gothischen Kreuzgewölbes; Fig. 382 den Grundriss desselben und Fig. 381 den Querschnitt nach der Linie $y' z'$ des Grundrisses.

Es ist hier angenommen worden, dass nur die Diagonalrippen, die Transversalrippen und die Mauerrippen aus Schnitt- oder Formsteinen bestehen, deren Querdurchschnitt Fig. 383 in doppeltem Maassstabe gezeichnet, vorstellt.

Bei der Aufführung dieses Gewölbes werden zunächst die Rippen aufgestellt; sodann werden die Kappen zwischen den Rippen eingewölbt.

— 384 und 385 zeigen die Construction dieses Gewölbes, wenn die Rippen nicht für sich bestehen, und nicht allein die Rippen, sondern auch die Kappen aus Schnittsteinen construirt werden.

— 385, der Grundriss, und

— 384, der Durchschnitt nach der gebrochenen Linie $a' b' c' d' e' f' g' h'$ des Grundrisses;

— 386, das Profil der Diagonalrippe, und

— 387, das Profil der Transversalrippe, beide Figuren nach dem doppelten Maassstabe gezeichnet.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 139.

Tafel XXX. Fig. 388. bis Fig. 400.

Geripptes Kreuzgewölbe.

Fig. 388, 389 und 390 stellen die Construction eines gerippten Kreuzgewölbes vor, dessen eine Firstlinie geradlinigt, die andere aber krummlinigt ist.

— 391, das Profil der Transversalrippe und

— 392, das Profil der Diagonalrippe, beide Figuren nach dem doppelten Maassstabe gezeichnet.

— 393, sternförmig geripptes Kreuzgewölbe mit horizontalen Firstlinien.

— 394, dasselbe Gewölbe mit gekrümmten Firstlinien.

— 395 bis 400, verschiedene Motive der Construction des Stern- und des Liernengewölbes.

Ausführlich beschrieben in §. 140.

Tafel XXXI. Fig. 401. bis Fig. 411.

Sterngewölbe.

Fig. 401 bis Fig. 411 sind eilf verschiedene Motive der Construction des Sterngewölbes und des Liernengewölbes, die Rippen oder Liernen durch einzelne Linien ausgedrückt.

Ausführlich beschrieben in §. 142.

Tafel XXXII. Fig. 412. bis Fig. 418.

Fig. 412 und 413, Construction des gerippten Kreuzgewölbes, wenn der Grundriss desselben ein reguläres Sechseck ist.

L, Construction der Fenstereinrahmung.

— 414, perspectivische Ansicht eines Steins der Diagonalrippen.

— 415 bis Fig. 418, Construction eines Sterngewölbes über dem quadraten Raume. Fig. 416 ist der Grundriss, Fig. 415 der Durchschnitt nach der Linie C' D', Fig. 417 ein Diagonalschnitt und Fig. 418 die Ansicht der Transversalrippe.

Die ausführliche Beschreibung in §. 143.

Tafel XXXIII. Fig. 419. bis Fig. 427.

Sterngewölbe.

Fig. 419 bis Fig. 423, horizontaler mittlerer Querschnitt der Sterngewölbe.
— 424 und 425, Construction eines Sterngewölbes;
— 426, Construction der Rippen und deren Schlusssteine, und
— 427, Construction der Rippen, wenn das Sterngewölbe horizontale Firsten erhält.
Die ausführliche Beschreibung in §. 144 bis incl. §. 146.

Tafel XXXIV. Fig. 428. bis Fig. 433.

Fig. 428 zeigt die Construction der aus zwei Mittelpunkten beschriebenen Rippenbogen.
— 430 ist der Grundriss eines Sterngewölbes mit horizontalen Firstlinien, dessen Rippen in der Art construirt sind, dass jeder Bogen derselben aus zwei verschiedenen Mittelpunkten beschrieben wird. Die Rippen bestehen für sich, und die Zwischenräume werden mit schwachen Deckplatten, welche zuweilen nur 4 Zoll stark sind, ausgefüllt.
— 429, ein verticaler Durchschnitt dieses Gewölbes nach der geraden Linie F' G' des Grundrisses, und
— 431, das Profil der Diagonalrippen, dasselbe in den doppelten Maassen des beigefügten Maassstabes gezeichnet.
— 433, der Grundriss eines reich verzierten Liernengewölbes nach dem Gewölbe der St. Georgs-Kapelle in Windsor.
— 432, ein verticaler Durchschnitt nach der Linie A' D' des Grundrisses.
Die ausführliche Beschreibung in §. 147 bis incl. §. 149.

Tafel XXXV. Fig. 434. bis Fig. 445.

Fig. 434, der Grundriss eines ringförmigen Tonnengewölbes, welches um eine Säule ringsherum sich windet.
— 435, ein mittlerer verticaler Querdnrchschnitt dieses Gewölbes, wenn die Grundbogen Halbkreise sind, und
— 436, ein verticaler Querdurchschnitt dieser Gewölbeconstruction, wenn die Grundbogen flache Bogenstücke sind.
— 437, Austragung der Lagerfuge der dritten Steinschicht.
— 438, ein Anfänger in der äussersten Steinschicht, und
— 439, ein Stein der folgenden Schicht.
— 440, das Normännische Gewölbe ohne Rippen;
— 441, dessen Durchschnitt nach der Linie A' B' des Grundrisses, und
— 442, ein anderer Durchschnitt nach der Linie C' D'.
— 443, Grundriss des Fächergewölbes;
— 444, ein verticaler Durchschnitt desselben nach der Linie A' B', und
— 445, ein anderer verticaler Durchschnitt nach der Linie C' D'.
Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 150 bis incl. §. 152.

Tafel XXXVI. Fig. 446. bis Fig. 463.

Kernbogen.

Fig. 446 und Fig. 447, die Ansicht und der Grundriss eines Kernbogens als Fenster- oder Thürwölbungsbogen.

— 448, 449 und 450 enthalten Steine dieses Bogens, nämlich 450 der Anfänger, 448 der Schlussstein und 449 der Stein zur Seite des Schlusssteins.

— 451 und 452, zweites Beispiel der Ueberwölbung einer Fenster- oder Thüröffnung.

— 453 und 454, bezeichnen Steine dieses Bogens, nämlich Fig. 453 den Anfänger und Fig. 454 den Schlussstein.

— 455 und 456, drittes Beispiel, die Thür- oder Fensteröffnung zu überwölben.

— 457, der Anfänger, und

— 458, der Schlussstein dieses Bogens.

— 459 und 460, viertes Beispiel, die Thür- oder Fensteröffnung zu überwölben.

— 461, der Anfänger,

— 462, der Stein über dem Anfänger,

— 463, der Schlussstein.

A, *B*, *C*, *D* bezeichnen die Schablonen der Lagerfugen an den Steinen dieses Bogens:

A, die des Schlusssteins,

B, die des nächsten Steins,

C, die des zweiten Steins zur Seite des Schlusssteins,

D, die Schablone der Lagerfuge des Anfängers.

Die ausführliche Beschreibung in §. 153.

Tafel XXXVII. Fig. 464. bis 468.

Der sphärische Strebebogen.

Fig. 464, 465, 466 und 467 stellen die Construction des sphärischen Strebebogens auf dem quadraten Raume vor.

— 468, Ansicht eines Anfängers.

Die nähere Beschreibung in §. 154 und §. 155.

Tafel XXXVIII. Fig. 469. bis 476.

Die Figuren 469 und 470 zeigen eine andere Construction des sphärischen Strebebogens auf dem quadraten Raume.

Fig. 471, 472 und 473, Construction des kugelförmigen Nieschengewölbes; 472 der Grundriss, 471 eine gerade Ansicht und Fig. 473 ein normaler Durchschnitt nach der Linie A' B' des Grundrisses.

— 474, 475 und 476, Steine dieses Gewölbes, und zwar 474 der Anfänger, 475 der Schlussstein und 476 der Kern oder das Auge des Gewölbes.

Die ausführliche Beschreibung in §. 156 und §. 157.

Tafel XXXIX. Fig. 477. bis Fig. 484.

Durchdringen zweier Tonnengewölbe mit gebrochenem geradem Rücken.

Fig. 477, 478 und 479, ein Tonnengewölbe wird von einem kleinern in normaler Richtung durchdrungen; Fig. 478 der Grundriss, Fig. 477 der Durchschnitt nach der Linie A' B' und Fig. 479 ein Durchschnitt nach der Linie C' D' des Grundrisses.

— 480 bis Fig. 484 stellen Steine dieses Gewölbes vor, und zwar

Fig. 480, den Anfänger O, dessen erste Projection in Fig. 478 mit O',

— 481 und 482, zwei Ansichten des Schlusssteins P, dessen erste Projection mit P' bezeichnet ist, und

— 483 und 484, zwei Ansichten des Steins R zur Seite des Schlusssteins P, dessen erste Projection in Fig. 478 mit R' bezeichnet ist.

K ist die Hauptschablone des Anfängers O für das grössere Tonnengewölbe, und

L, die Haupt- oder Stirnschablone des Steins O auf der Seite des kleinern Tonnengewölbes.

F ist die Stirnschablone des Schlusssteins P, und

E, die Schablone der centralen Lagerfuge desselben.

G ist die Stirnschablone des Steins R,

H, die Schablone der verticalen Fuge zur Seite dieses Steins, und

I, die Schablone der centralen Lagerfuge eben daselbst.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 158.

Tafel XXXX. Fig. 485. bis Fig. 495.

Durchdringen zweier Tonnengewölbe mit rundem Rücken.

Die Figuren 485, 486 und 487 zeigen die Construction und den Fugenschnitt zweier unter einem rechten Winkel sich durchdringenden Tonnengewölbe mit rundem Rücken.

Fig. 488 bis 494 stellen diejenigen Steine vor, welche in der Gegend des Durchdringens den Verband des grössern Tonnengewölbes mit dem kleinern vermitteln, und zwar

Fig. 488 stellt den Anfänger dieser Steine vor,

— 489 den darauf folgenden Stein in der nächsten Schicht,

— 490 den Stein, welcher in der dritten Schicht jenen Verband vermittelt,

— 491 diesen Stein in der vierten Schicht,

— 492 desgleichen in der fünften Schicht,

— 493 desgleichen in der sechsten Schicht und

— 494 stellt den Schlussstein in der Gegend des Durchdringens vor.

Fig. 495, die Austragung der Lagerfugen.

Die nähere Beschreibung in §. 159.

Tafel XXXXI. Fig, 496. bis Fig. 501.

Durchdringen zweier Tonnengewölbe in schiefer Richtung.

Fig. 496, 497, 498 und 499 zeigen die Anordnung des Fugenschnittes, wenn zwei Tonnengewölbe in schiefer Richtung sich durchdringen.

— 500, der Schlussstein in der Gegend des Durchdringens.

— 501 zeigt eine andere Anordnung des Fugenschnittes, wenn ein Tonnengewölbe in schiefer Richtung von einem kleinern durchdrungen wird.

Die ausführliche Beschreibung der Figuren dieser Tafel in §. 160.

Tafel XXXXII. Fig. 502. bis Fig. 510.

Fortsetzung vom Durchdringen.

Ein Kugelgewölbe wird von einem Tonnengewölbe durchdrungen, und ein steigendes Tonnengewölbe durchdringt ein grösseres Tonnengewölbe.

Fig. 502, 503 und 504 zeigen die Anordnung des Fugenschnitts, wenn ein Kugelgewölbe von einem Tonnengewölbe durchdrungen wird.

Fig. 505, 506 und 507 stellen diejenigen Steine dieser Gewölbeconstruction vor, welche in der Gegend des Durchdringens den gegenseitigen Verband der beiden Gewölbe vermitteln. Fig. 505 bezeichnet den Anfänger, Fig. 506 den Schlussstein und Fig. 507 den Stein zur Seite des Schlusssteins.

— 508, 509 und 510 zeigen die Anordnung des Fugenschnitts, wenn ein Tonnengewölbe von einem kleinern ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen wird.

Die ausführliche Beschreibung dieser Figuren in §. 161 und §. 162.

Tafel XXXXIII. Fig. 511. bis Fig. 520.

Fortsetzung vom Durchdringen.

Fig. 511, 512 und 513 zeigen die Construction des Durchdringens der Gewölbe, wenn ein ansteigendes Tonnengewölbe von einem kleinern Tonnengewölbe in normaler Richtung durchdrungen wird.

— 514, 515 und 516, ein Tonnengewölbe wird von einem kleinern ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen.

— 517, 518 und 519, ein Kugelgewölbe wird von einem ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen.

— 520, der Schlussstein des Tonnengewölbes, welcher den Verband beider Gewölbe vermittelt.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 163.

Tafel XXXXIV. Fig. 521. bis Fig. 531.

Fig. 521, *A* stellt den Grundriss einer Freitreppe mit zwei geraden Wangenmauern vor;

B den verticalen Durchschnitt derselben.

Fig. 522, *A*, der halbe Grundriss einer Freitreppe mit schräg ansteigenden Wangenmauern;

B, ein verticaler Durchschnitt derselben mit der Ansicht der schrägen Wangenmauer;

C, der halbe Grundriss dieser Treppe, wenn die Wangenmauern aus mehreren Abtreppungen bestehen;

D, ein verticaler Durchschnitt mit der Seitenansicht der Wangenmauer.

Fig. 523, Durchschnitt einer Freitreppe.

— 524, Ansicht des Stosses zweier Stufensteine.

— 525, perspectivische Ansicht dieses Treppensystems.

— 526, perspectivische Ansicht einer Treppenstufe.

— 527, Profil dieser Stufe.

Fig. 528 und Fig. 529, Durchschnitt und Grundriss einer Freitreppe mit Doppelstufen.

A, Bindersteine, durch welche die Stösse der einfachen Stufen aufgenommen werden.

— 530 und Fig. 531, Ansicht und Grundriss einer Freitreppe mit drei Armen.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 164 bis incl. §. 168.

Tafel XXXXV. Fig. 532. bis Fig. 538.

Fig. 532 und Fig. 533, der Grundriss und der Durchschnitt einer kleinen Freitreppe mit rechtwinkliger Wiederkehr.

— 534 und Fig. 535, der Aufriss und der Grundriss einer viereckig gewundenen Schneckentreppe.

— 538, der Grundriss einer Treppe mit geraden Armen auf vorspringendem Gewölbe.

— 537, der Aufriss dieser Treppe, wenn das Gewölbe unter den Podesten ein Klostergewölbe ist.

— 536, der Aufriss der Treppe, wenn die Podeste auf einem conischen Gewölbe ruhen.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 168 bis incl. §. 172.

Tafel XXXXVI. Fig. 539. bis Fig. 557.

Fig. 539 und Fig. 540, der Grundriss und der Aufriss einer Treppe zwischen cylindrischen Mauern.

— 541 und Fig. 542, der Grundriss und der Aufriss einer Treppe zwischen cylindrischen Mauern, von welchen die äussere Mauer beliebig fortgesetzt, die innere aber in treppenförmigen Absätzen endigt.

— 543 und Fig. 544, der Grundriss und der Aufriss einer Treppe zwischen cylindrischen Mauern, wenn die innere Mauer in einer krummen Wange endigt.

— 545 und Fig. 546, der Grundriss und der Aufriss eines Theiles der cylindrischen Wangenmauer in vierfach grösserem Maassstabe.

— 547, die Austragung der Schraubenlinien eines Wangensteins.

— 548, 549 und Fig. 550, Steine der Wangenmauer.

— 551 und Fig. 552, der Grundriss und der Aufriss eines cylindrischen Wangensteins, welcher unterhalb und oberhalb von Schraubenlinien begrenzt wird.

— 553 bis Fig. 557, Constructionen zur Darstellung eines Wangensteins mit Schraubenlinien.

Die ausführliche Beschreibung dieser Tafel in §. 173 bis incl. §. 175.

Tafel XXXXVII. Fig. 558. bis Fig. 568.

Fig. 559, der Grundriss einer freitragenden Treppe mit drei geraden Armen und stetig zusammenhängender Fläche in der untern Ansicht.
— 560, eine gerade Ansicht dieser Treppe.
— 561, Seitenansicht des dritten Treppenarmes.
— 562, verticaler Durchschnitt des ersten Treppenarmes.
— 558, Grundriss einer freitragenden Treppe mit abgerundeter Oeffnung zwischen den Armen.
— 563, der Grundriss einer freitragenden runden Schneckentreppe.
— 564, die Austragung oder Verstreckung der innern Stirnfläche der Stufen, und
— 565, die Austragung der äussern Stirnfläche derselben.
— 566, die Form einer Stufe, welche dieselbe zunächst bei der Bearbeitung erhält, und
— 567, die Form einer fertig bearbeiteten Stufe.
— 568, Durchschnitt einer freitragenden Treppe, wenn die untere Fläche derselben eine treppenförmig gebrochene Ebene ist.
Die ausführliche Beschreibung in §. 176 und 177.

Tafel XXXXVIII. Fig. 569. bis Fig. 582.

Fig. 569, Grundriss einer freitragenden Treppe mit Wange und drei geraden Armen.
— 570, eine gerade Ansicht dieser Treppe.
— 571, die innere Stirnschablone einer Stufe, dieselbe in doppelten Maassen gezeichnet.
— 572, Durchschnitt eines Treppenarmes, wenn die Lagerfugen der Stufen auf der Richtung der ansteigenden Wange normal steht.
— 573, die Form der Treppenstufe, wenn die Wange durch einen an jeder Stufe befindlichen Haken gebildet wird, und
— 576 die innere Stirnschablone dieser Stufe.
— 574 Form der Treppenstufe, wenn das Wangenstück, welches an der Stufe sich befindet, die Form eines Parallelepipedums hat, und
— 577 die innere Stirnschablone dieser Stufe.
Die Figuren 573, 574, 576 und 577 sind der Deutlichkeit wegen nach den doppelten Maassen gezeichnet worden.
— 575, Durchschnitt einer Treppe, deren Stufen die Form von Fig. 574 haben.

Fig. 580, Grundriss einer freitragenden runden Schneckentreppe mit Wange und continuirlicher untern Fläche.

— 578, Austragung der innern Stirnenden der Stufen, und

— 579, Austragung der äussern Stirnenden der Stufen.

— 581, zur Erklärung des Versetzens der Steine eines Tonnengewölbes, und

— 582, der Inclinator, welcher zur Berichtigung der Lagerfugen der Gewölbsteine dient.

Die ausführliche Beschreibung der Figuren dieser Tafel in §. 178, §. 179 und §. 184.